



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS
REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA (*Daucus
carota* L.) var. Chantenay EN MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA
DE CHIMBORAZO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÓNOMO**

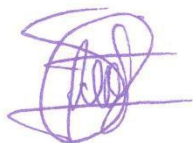
JAILLI YUMBO GREFA

Riobamba – Ecuador

2019

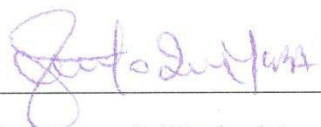
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES****ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA****CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA (*Daucus carota* L.) var. Chantenay EN MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, de responsabilidad del señor Jailli Yumbo Grefa ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Juan Eduardo León Ruiz Ph.D

DIRECTOR



Ing. Gonzalo Xavier Mera Chunes

ASESOR

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD

Yo, Jailli Yumbo Grefa declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académico de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 21 de enero del 2019



Jailli Yumbo Grefa

150095394-6

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud, sabiduría, esperanza y fortaleza para culminar uno de los anhelos deseados de mi vida.

A mis padres, Sergio Yumbo y Gloria Grefa, que son un pilar importante, gracias a su amor, paciencia y esfuerzo durante esta etapa de vida me han motivado a superar las adversidades y así lograr cumplir un sueño más.

A mis hermanos por haber estado siempre presentes y animarme en los momentos difíciles y así para sobrellevar las adversidades.

A toda mi familia que gracias a sus consejos y palabras de aliento me han hecho mantener firme y no rendirme.

AGRADECIMIENTO

Como no a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que con la Escuela de Ingeniería Agronómica por la darne la oportunidad de formarme en esta prestigiosa institución.

A mis profesores quienes con su experiencia y paciencia han logrado impartir sus conocimientos sobre esta gran carrera que es la agronomía.

Al Ing. Juan León Ruiz PhD director de mi trabajo de titulación, por su amistad, por impartir sus experiencias y sabios consejos a lo largo de la carrera, por la paciencia que tuvo de orientarme y de esta manera culminar con éxito mi trabajo de titulación.

Al Ing. Xavier Mera Chunes, asesor de tesis, le agradezco por el apoyo brindado, por su tiempo, amistad, por los conocimientos impartidos y guiarme en trabajo de investigación.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa con su amistad, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano con lo que compartí momentos inolvidables.

TABLAS DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	xi

CONTENIDO

CAP. CAPTÍTULOS	PÁGINAS
I. EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA (<i>Daucus carota</i> L.) var. Chantenay EN MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	1
II. INTRODUCCIÓN	1
A. PROBLEMA.....	3
B. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS.....	4
A. OBJETIVO GENERAL	4
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
IV. HIPÓTESIS	5
A. HIPÓTESIS NULA.....	5
B. HIPÓTESIS ALTERNATIVA	5
C. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
A. IMPORTANCIA DEL AGUA.....	6
B. EL AGUA EN EL SUELO	6
C. EVAPOTRANSPIRACIÓN	9
D. REQUERIMIENTO HÍDRICO	12

E.	CULTIVO DE ZANAHORIA	17
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
A.	CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	24
B.	CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL	24
C.	DISEÑO EXPERIMENTAL	25
D.	EQUIPOS Y MATERIALES.....	26
E.	MÉTODOS	27
F.	MANEJO DEL ENSAYO	36
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
A.	EVALUACIÓN DEL MÉTODO MÁS APROPIADO PARA DETERMINAR LA LÁMINA DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA.....	39
B.	COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) AJUSTADO PARA EL CULTIVO DE ZANAHORIA.....	64
C.	HUELLA HÍDRICA	66
D.	ANÁLISIS ECONÓMICO	67
VIII.	CONCLUSIONES.....	68
IX.	RECOMENDACIONES.....	69
X.	RESUMEN.....	70
XI.	SUMMARY	71
XII.	BIBLIOGRAFÍA.....	72
XIII.	ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	Tabla 1. Porcentaje de humedad para los diferentes tipos de suelo.,.....	8
	Tabla 2. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros, 8	
	Tabla 3. Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A,	15
	Tabla 4. Producción de zanahoria en el Ecuador en el 2014,	23
	Tabla 5. Descripción de los tratamientos,	27
	Tabla 6. Descripción de las etapas fenológicas del cultivo de zanahoria.,	28
	Tabla 7. Forma de determinación de los requerimiento hídricos según los tratamientos.,	30

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Cuadro 1.	Análisis de varianza (adeva),	26
Cuadro 2.	Lámina, frecuencia y números de riego en el cultivo de zanahoria en los tratamientos,	42
Cuadro 3.	Volumen total de agua aplicada (lt/m ²) en el cultivo de zanahoria en los tratamientos,	43
Cuadro 4.	Análisis de varianza para la emergencia a los 20 dds.,	44
Cuadro 5.	Análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 dds.,.....	44
Cuadro 6.	Análisis de varianza para la altura de la planta a los 60 dds.,	45
Cuadro 7.	Análisis de varianza para la altura de la planta a los 90 dds.,	46
Cuadro 8.	Análisis de varianza para la altura de la planta a la cosecha.,	47
Cuadro 9.	Análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a los 30 dds.,	48
Cuadro 10.	Análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a los 60 dds.,	49
Cuadro 11.	Análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a los 90 dds.,	50
Cuadro 12.	Análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a la cosecha,	51
Cuadro 13.	Análisis de varianza para el largo de la raíz a la cosecha.,	52
Cuadro 14.	Análisis de varianza para el peso de la raíz a la cosecha.,.....	53
Cuadro 15.	Análisis de varianza para el rendimiento de la zanahoria de primera categoría (ton/ha),.....	54
Cuadro 16.	Análisis de varianza para el rendimiento de la zanahoria de segunda categoría (ton/ha),	55
Cuadro 17.	Análisis de varianza para el rendimiento de la zanahoria de tercera categoría (ton/ha),	56
Cuadro 18.	Análisis de varianza para el rendimiento total de la zanahoria (ton/ha), ..	57
Cuadro 19.	Análisis de varianza para el peso húmedo de la planta.,	58
Cuadro 20.	Análisis de varianza para el peso húmedo de la planta,	59
Cuadro 25.	Análisis de varianza para el peso húmedo de la hoja.,	60
Cuadro 26.	Análisis de varianza para el peso seco de la hoja (g),	61
Cuadro 27.	Análisis de varianza para el peso húmedo de la raíz.,	61
Cuadro 28.	Análisis de varianza para el peso seco de la raíz.,	62
Cuadro 29.	Rentabilidad de los tratamientos,	67

LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Figura 1.	Duración de las etapas fenológicas del cultivo de la zanahoria en los diferentes tratamientos.,	39
Figura 2.	Duración total del ciclo de cultivo de la zanahoria.,	40
Figura 3.	Volumen de agua (lt/m ²) aplicada en cada etapa del cultivo de zanahoria.,	41
Figura 4.	Volumen total de agua (lt/m ²) aplicada en el cultivo de zanahoria.,	43
Figura 5.	Altura de la planta de zanahoria a los 60 DDS.,	45
Figura 6.	Altura de la planta de zanahoria a los 90 DDS.,	46
Figura 7.	Altura de la planta de zanahoria a la cosecha.,	47
Figura 8.	Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a los 30DDS.	48
Figura 9.	Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a los 60 DDS.,	49
Figura 10.	Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a los 90 DDS.,	50
Figura 11.	Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a la cosecha.,	51
Figura 12.	Largo de la raíz de zanahoria a la cosecha.,	52
Figura 13.	Peso de la raíz de zanahoria a la cosecha,	53
Figura 14.	Rendimiento de la zanahoria de primera categoría,	54
Figura 15.	Rendimiento de la zanahoria de segunda categoría,	55
Figura 16.	Rendimiento de la zanahoria de tercera categoría,	56
Figura 17.	Rendimiento del cultivo de zanahoria.,	57
Figura 18.	Peso húmedo de la planta.,	59
Figura 19.	Peso húmedo de las hojas.,	60
Figura 20.	Peso húmedo de la raíz.,	62
Figura 22.	Contenido Relativo de Agua (WRC) a la cosecha en el cultivo de zanahoria.,	63
Figura 23.	Porcentaje de materia seca a la cosecha del cultivo de zanahoria.,	63
Figura 24.	Coeficiente de cultivo (Kc) mediante las fórmulas FAO.,	64
Figura 25.	Coeficiente de cultivo (Kc) mediante los lisímetros.,	65
Figura 26.	Huella hídrica (lt/kg) para los diferentes tratamientos en el cultivo de zanahoria.,	66
Figura 27.	Relación Beneficio/Costo de los tratamientos.,	67

LISTA DE ANEXOS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Anexo 1.	Duración de cada etapa fenológica por tratamiento.,.....	78
Anexo 2.	Altura de las plantas (cm) a los 30 días después de la siembra.,	78
Anexo 3.	Altura de las plantas (cm) a los 60 días después de la siembra.,	78
Anexo 4.	Altura de las plantas (cm) a los 90 días después de la siembra.,	79
Anexo 5.	Altura de las plantas (cm) a la cosecha.,.....	79
Anexo 6.	Diámetro del hombro de la raíz (cm) a los 30 días después de la siembra.,..	79
Anexo 7.	Diámetro del hombro de la raíz (cm) a los 60 días después de la siembra., ..	80
Anexo 8.	Diámetro del hombro de la raíz (cm) a los 60 días después de la siembra, ...	80
Anexo 9.	Diámetro del hombro de la raíz (cm) a la cosecha.,.....	80
Anexo 10.	Longitud de la raíz (cm) a la cosecha.,	81
Anexo 11.	Peso fresco hojas (g) a la cosecha.,.....	81
Anexo 12.	Peso fresco raíz (g) a la cosecha.,	82
Anexo 13.	Rendimiento primera categoría (Ton/ha),.....	82
Anexo 14.	Rendimiento segunda categoría (Ton/ha),	82
Anexo 15.	Rendimiento tercera categoría (Ton/ha),	83
Anexo 16.	Rendimiento tercera categoría (Ton/ha),	83
Anexo 17.	Comportamiento climático durante el ciclo de cultivo de zanahoria.,.....	83
Anexo 18.	Distribución de los tratamientos en el campo,	84
Anexo 19.	Costo del ensayo para la evaluación de tres métodos para determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) var. Chantenay en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.,	85

I. EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA (*Daucus carota* L.) var. Chantenay EN MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

II. INTRODUCCIÓN

El agua siempre ha sido el principal factor que limita la producción agrícola en gran parte del mundo, donde la precipitación no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos (FAO, 2014).

La producción de biomasa está íntimamente ligada a la necesidad de agua debido a que el riego es una herramienta vital que sustenta a la producción, convirtiendo a las tecnologías de riego mejoradas y las prácticas de ahorro de agua en claves esenciales para salvaguardar la producción agrícola.

La agricultura es el mayor consumidor de agua dulce. Aproximadamente el 70% de las extracciones de agua dulce se destinan a la agricultura de regadío. La escasez de agua podría limitar la producción y el abastecimiento de alimentos, con la consiguiente presión sobre los precios y una mayor dependencia de los países en las importaciones de alimentos (UNESCO, 2010).

Según la base de datos SENAGUA (2012), en las demandas sectoriales, el uso predominante del agua en el país es el agrícola, pues representa el 80% del caudal utilizado, seguido por el uso doméstico con un 13% y la industria con un 7%.

Mediante el control preciso del regadío en los cultivos se potencia la absorción del agua por las raíces, permitiendo duplicar su rendimiento, contrario a lo que suscita con los de secano; incluso la agricultura bajo riego con bajos insumos es más productiva que la agricultura de secano con altos insumos (FAO, 2002).

Gran parte de las hortalizas incluyendo la zanahoria requieren de humedad uniforme durante todo el ciclo para obtener buenos rendimientos y calidad de fruto. Cuando el

riego es en exceso el consumo de agua y energía se eleva, con riesgo de contaminar los mantos acuíferos con fertilizantes. Por otro lado, si la cantidad de agua no cumple con los requerimientos de los cultivos, se afectará el rendimiento o puede provocar algunas deficiencias tales como pudrición apical o poco crecimiento de frutos. (Martínez de la Cerda & et. al, 2005)

Las zanahorias son más sensibles al estrés por déficit hídrico durante el periodo de la germinación de la semilla y cuando la raíz está creciendo. El riego puede mejorar la emergencia, reducir la erosión por el viento y reducir la temperatura del suelo durante la germinación. (Traxco, 2012)

Los requerimientos hídricos del cultivo se refieren a las necesidades de agua para evapotranspiración (ET) y crecimiento de las plantas, que dependen principalmente del desarrollo del cultivo y de factores climáticos. (Robinson, 2009)

Los métodos más utilizados para la determinación de los requerimientos del cultivo son: 1) Lisimetría; 2) Utilización del Tanque de Evaporación tipo A: Riego en base a datos climatológicos; 3) Utilización Formulas empíricas dadas por la FAO; 4) Tensiómetros o bloques de yeso: Se basa en la fuerza con que el suelo retiene la humedad, al secarse el suelo, este retiene la humedad con mayor fuerza a las partículas del suelo y menos humedad está disponible para la planta, esto es lo que mide el tensiómetro. (Martínez de la Cerda & et. al, 2005).

A. PROBLEMA

Uno de los problemas más importantes que se observa en la producción del cultivo de zanahoria es el mal uso y manejo del agua de riego debido al desconocimiento del momento oportuno del riego y la cantidad de agua que el cultivo consume en todo su ciclo, lo que genera bajos rendimientos ocasionando pérdidas económicas al agricultor.

El desconocimiento del método más apropiado para determinar los requerimientos hídricos del cultivo de zanahoria conlleva a establecer dosis de riego que influye en la disminución del rendimiento, problemas fitosanitarios y problemas en la calidad del producto.

Tomando en consideración los aspectos anteriormente indicados surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es la lámina de riego para cubrir los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria en función de la aplicación de diferentes métodos?

B. JUSTIFICACIÓN

La evaluación de los diferentes métodos para determinar los requerimientos hídricos permitirá establecer los volúmenes de agua necesarios que se deben aportar mediante el riego; debido a que es un componente fundamental del conjunto de medidas técnicas necesarias para elevar la producción del cultivo de zanahoria.

Con la presente investigación se pretende establecer el la lámina de riego necesaria que permita a los agricultores optimizar el recurso hídrico con el fin de lograr una mayor producción, calidad e incremento del rendimiento por hectárea, por ende mejorar su rentabilidad.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar tres métodos de determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el método más apropiado de determinación de la lámina de riego en el cultivo de zanahoria.
2. Ajustar el Kc (coeficiente de cultivo) para el cultivo de zanahoria
3. Determinar la huella hídrica para el cultivo de zanahoria
4. Determinar el mejor tratamiento en función del análisis económico.

IV. HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS NULA

Ninguno de los métodos es apropiado para determinar el momento oportuno de riego y cantidad de agua en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay, en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

B. HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Al menos uno de los métodos es apropiado para determinar el momento oportuno de riego y cantidad de agua en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay, en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

C. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1. Variable Dependiente

- a. Rendimiento

2. Variable Independiente

- a. Tanque de evaporación tipo A
- b. Fórmulas empíricas (FAO)
- c. Lisímetro
- d. Condiciones ambientales

V. REVISIÓN DE LITERATURA

A. IMPORTANCIA DEL AGUA

El empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción más estable. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos (FAO, 2002).

A nivel mundial se está generando grandes tensiones con respecto al uso de agua en la agricultura debido a que se utiliza un 70 % del agua dulce disponible, pero esto se debe al incremento de la población que están consumiendo mayores cantidades de alimentos por lo que cada vez se necesitan crecientes cantidades de agua para la producción; se estima que para producir un kilogramo de grano se requiere entre 500 y 3000 litros de agua. Con esto se observa la gran importancia que tiene el cuidado del recurso hídrico, sobre todo desde el punto de vista de su eficiencia de uso (Celdrán, 2013).

B. EL AGUA EN EL SUELO

1. Parámetros de humedad en el suelo

a. Capacidad de campo (CC)

Cantidad de agua máxima que el suelo puede retener, medida a las 48 horas después de una lluvia o riego (el contenido de agua continúa descendiendo a medida que pasa el tiempo). Es la cantidad de agua retenida a una tensión de 0,1 a 0,33 bares. Depende del tipo de suelo, especialmente de su textura (FAGRO, 2015).

b. Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de agua retenida a una tensión de 15 bares. Su valor depende del tipo de suelo. Este es el límite de tensión hasta el cual una planta, adaptada a condiciones medias de humedad, puede extraer agua (FAGRO, 2015).

c. Agua útil (AU)

Es el agua retenida entre CC y el PMP Es la máxima cantidad de agua que la planta puede disponer para su absorción en determinado perfil. No toda el agua útil es fácilmente disponible para las plantas (FAGRO, 2015).

2. Medición del agua en el suelo

La medición del agua en el suelo es importante dentro de un sistema suelo-planta-atmosfera, destacando métodos como: método gravimétrico y medidas del potencial del agua del suelo con tensiómetros (FAGRO, 2015).

a. Método gravimétrico

Es una medida directa de la humedad del suelo, y es el método estándar para calibrar otras técnicas de determinación del agua en el suelo. Para determinar el contenido gravimétrico de agua en el suelo se debe tomar muestras de suelo a diferentes profundidades con un barreno. La muestra se coloca en un recipiente y se pesa; posteriormente se seca en un horno a 105°C hasta que se obtiene un peso constante (normalmente después de 24 horas), después se vuelve a pesar.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\%HS = \frac{(PSH - PSS)}{PSS} * 100$$

Dónde:

%HS: Porcentaje de humedad del suelo

PSH: Peso de la muestra húmeda

PSS: Peso de la muestra seca (Enciso , Porter, & Péries, 2005)

Tabla 1. Porcentaje de humedad para los diferentes tipos de suelo.

Textura	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente	Agua disponible
Arenoso	9%	2%	7%
Franco arenoso	14%	4%	10%
Franco	34%	12%	22%
Franco arcilloso	30%	16%	14%
Arcilloso	38%	34%	14%

Fuente: (FAGRO, 2015)

b. Método potencial mátrico del suelo con tensiómetros

El tensiómetro mide la tensión o la succión del agua del suelo. El agua se mueve desde el tubo del tensiómetro a través de la cápsula de cerámica hacia el suelo en respuesta a la succión del agua del suelo. Conforme el suelo se seca, la lectura en el medidor aumenta. Una lectura de 0 indica un suelo saturado, el límite funcional del tensiómetro es de aproximadamente 80 cb. (Enciso, Porter, & Péries, 2005)

Tabla 2. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros

Lectura centibares	Estado	Explicación/ Acción
0	Saturado	Estado de saturación para cualquier tipo de suelo, si la lectura persiste indica problemas de drenaje fuerte y aireación.
5-10	Exceso	Exceso de humedad para el desarrollo de la planta, es indicador de que el drenaje continúa.
10-20	Capacidad de campo	Indica capacidad de campo para la mayoría de los suelos, aportaciones extra de agua se perderán por percolación con el consiguiente lavado de nutrientes
20-30	Rango de inicio de riego	Buen nivel de agua disponible y aireación en suelos de textura fina y media, no se requiere riego.
30-40		Indica el riego para suelos de arena fina, y para la mayoría de suelos de

40-60		bajo régimen de riego por goteo. Indica el inicio de riego para la mayoría de los suelos. Suelos francos inician entre 40-50 cbars.
70	Seco	Inicia el rango de estrés, pero es probable que aún no sufra daño el cultivo
80		Rango máximo para la efectividad del tensiómetro. Lecturas mayores son posibles pero la columna de agua del aparato puede romper entre 80-85 cbars.

Fuente: (De la Fuente, 2006)

C. EVAPOTRANSPIRACIÓN

1. Evaporación

Es el agua contenida en el suelo que se vaporiza por acción de la energía que llega a la superficie del suelo en forma de radiación solar y por la temperatura del aire (Intagri, 2017).

2. Transpiración

Transporte y evaporación del agua desde el suelo a la atmosfera, a través del tejido de las plantas. Un cultivo pierde agua por los estomas, que son pequeñas aberturas en las hojas de las plantas por donde atraviesan gases y vapor de agua. El agua y los nutrientes se absorben por la raíz, pero gran parte del agua absorbida se pierde por la transpiración y solo una pequeña parte se queda en los tejidos vegetales (Intagri, 2017).

3. Evapotranspiración

Es la combinación de dos procesos separados que ocurren simultáneamente por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo como por ejemplo 1 mm día^{-1} es equivalente $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ya que una hectárea tiene una superficie de $10\,000 \text{ m}^2$ y 1 milímetro es igual a 0,001 m una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m^3 de agua por hectárea (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

4. Factores que afectan a la evapotranspiración

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración.

a. Variables climáticas

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura ambiental, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación cuando se cuenta con registros climáticos mediante modelos matemáticos desarrollados, puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), que representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

b. Factores de cultivo

Las características fenotípicas de cada especie, variedad y etapa de desarrollo conllevan a diferentes niveles de ET, donde, conforme el cultivo crece y se desarrolla, va cubriendo el suelo, aumentando así la tasa de ET, como consecuencia del incremento del índice de área foliar y de la altura de la planta (Intagri, 2017).

c. Manejo de cultivo

Uno de los elementos de mayor efecto es la disponibilidad de agua en el suelo. Misma que está relacionada con las características del suelo (textura, estructura, densidad aparente, etc.). De igual forma, la incidencia de plagas y enfermedades, saturación del

perfil, prácticas culturales, entre otros, pueden aumentar o disminuir la tasa de evaporación (Intagri, 2017).

5. Evapotranspiración de referencia

Es la evapotranspiración cultivo de un cultivo hipotético de referencia, similar a una pradera de gramíneas, que cubre uniformemente el suelo, con una altura de 12 cm y sin ningún tipo de estrés.

Se estima a partir de distintas variables meteorológicas para lo cual existen diferentes fórmulas. La FAO recomienda el método FAO Penman – Monteith que requiere de valores diarios de temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar y velocidad del viento registrados a 2m de altura (Martínez, 2004).

6. Evapotranspiración de cultivo

La evapotranspiración o necesidad (consumo) de agua por los cultivos es el agua usada por las plantas en la transpiración más la evaporada directamente desde la superficie del suelo. (León, 2016)

Normalmente se mide en mm/día o mm/mes, y depende de la interacción entre factores climáticos, botánicos, edáficos y de manejo del cultivo. La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta; se incrementa a medida que la 17 planta crece en altura, y en área foliar, hasta alcanzar un máximo en la etapa de fructificación y luego disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha. (León, 2016)

La evapotranspiración del cultivo se calcula como:

$$E_{tc} = E_{to} * K_c$$

Dónde:

E_{tc} = Evapotranspiración de cultivo

E_{to} = Evapotranspiración de referencia

K_c = coeficiente del cultivo (FAO, 2002)

7. Coeficiente de cultivo (kc)

El efecto de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo está integrado en un solo coeficiente denominado coeficiente de cultivo Kc (Fernández, Martínez, Tavarez, Castillo, & Salas, 2010)

Según Martínez (2004), el coeficiente de cultivo (kc) representa el efecto del cultivo sobre el proceso de transpiración que depende de las características del cultivo: especie, variedad, etapa de desarrollo, etc.

Se puede calcular mediante utilizando la siguiente fórmula:

$$kc = \frac{Etc}{Eto}$$

Dónde:

Kc: Coeficiente del cultivo (adimensional)

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm/día) (Martínez, 2004)

D. REQUERIMIENTO HÍDRICO

La estimación de la demanda de agua, a través de cualquier sistema de riego dependerá de conocer la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el fin de no perjudicar su rendimiento (Fernández, Martínez, Tavarez, Castillo, & Salas, 2010)

1. Lámina de riego

Es el volumen de agua que se requiere para una superficie que se representa en mm que equivale a lt/m².

a. Lámina bruta

Finalmente la lámina de riego a aplicar se calcula a través de la siguiente ecuación (León, 2008)

$$Lb = \frac{Etc * FR}{Ef}$$

Dónde:

Lb = lamina bruta de riego (mm)

FR= frecuencia de riego (días)

ETc= evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Ef= eficiencia de aplicación del agua (fracción) (León, 2008)

b. Lámina neta (Ln)

Es la cantidad total de agua aplicada a las tierras, es la relación entre la lámina bruta y la eficiencia de aplicación (Ea) (León, 2008)

$$LN = \frac{LB}{Ea}$$

c. Frecuencia de riego

Conocida la lámina de agua que el suelo puede retener y definido el umbral de riego según el tipo de cultivo, se procede a calcular la frecuencia de riego máxima, a través de la siguiente ecuación (León, 2008):

$$FR_{max} = \frac{Ln}{ETc}$$

Dónde:

FR max =Frecuencia de riego máxima (días)

Ln= Lámina neta (mm)

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm/día) (León, 2008)

El valor de FRmax representa el intervalo máximo entre riegos que permite satisfacer la demanda evapotranspiratoria del cultivo, en función del tipo de suelo y el umbral de riego adoptado

d. Determinación del agua útil para el riego

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

Dónde:

AU= Agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en la zona radicular (mm)

Z= Profundidad de la zona radicular (mm)

CC= Contenido de humedad a capacidad de campo (m^3 / m^3)

PMP= Contenido de humedad a punto de marchitez permanente (m^3 / m^3)

Da= Densidad aparente del suelo (gr / m^3) (León, 2008)

2. Metodologías para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos

a. Método del Tanque evaporímetro tipo A

La evapotranspiración potencial del cultivo (Ep) se puede medir empleando el tanque de evapotranspiración clase “A” en el que se anotan periódicamente las diferencias de nivel de agua. En la práctica, la Ep también puede medirse usando un recipiente con agua, abierto y plano, con paredes de cualquier altura y forma, al que se acopla una escala milimétrica vertical (Fernández, Martínez, Tavarez, Castillo, & Salas, 2010).

Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir la ETo para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

$$ETo = Kp * Evap$$

Dónde:

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kp: coeficiente del tanque evaporímetro.

Evap: evaporación del tanque evaporímetro (mm/día) (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Los coeficientes del taque evaporímetro para diversas localidades y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa según la (FAO, 2006) se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en suelo desnudo			
HR media Velocida d viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)	Baja	Media 40 – 70	Alta	Distancia del cultivo a barlovento (m)	Baja < 40	Media 40- 70	Alta > 70
Baja <2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderad a 2 – 5	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Alta 5 – 8	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
Muy alta >8	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,4	0,45

Fuente: (FAO, 2006)

b. Métodos Empíricos

Se han desarrollado una gran cantidad de métodos más o menos empíricos por numerosos científicos y especialistas en todo el mundo, con el fin de estimar la evapotranspiración a partir de diferentes variables climáticas.

En el Documento N° 24 de la Serie FAO Riego y Drenaje "Necesidades de agua de los cultivos" se presenta cuatro métodos para calcular la evapotranspiración del cultivo de

referencia (ET_o): Blaney-Criddle, radiación, Penman modificado y el método del tanque de evaporación. El método de Penman modificado se consideró que ofrecía los mejores resultados con el mínimo error posible con relación a un cultivo de referencia (pasto). También se esperaba que el método del tanque de evaporación ofreciese estimaciones aceptables, en función de la localización del tanque (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

El método de la radiación fue sugerido para las áreas donde los datos climáticos disponibles incluían la medición de las horas de insolación, la nubosidad o la radiación, pero no la velocidad del viento ni la humedad atmosférica. Finalmente, la publicación propuso el uso del método de Blaney-Criddle para las áreas donde los datos climáticos disponibles incluían solamente datos de temperatura del aire (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

c. Lisimetría

Es la forma directa y exacta de medir la evapotranspiración del cultivo (ET_c), a partir de recipientes o estructuras que aíslan parte del suelo cultivado llamado lisímetro, durante un periodo determinado.

Los lisímetros son generalmente la herramienta que ayuda a evaluar la confiabilidad de los procedimientos empíricos, dichos lisímetros son recipientes grandes, llenos de suelo, ubicados en el campo para representar sus características naturales, en las cuales las condiciones agua-suelo-planta pueden ser reguladas y controladas (León, 2016).

El suelo contenido en ellos puede ser suelo no alterado (monolito) o suelo alterado. La evapotranspiración ocurrida en un tiempo determinado puede darse por pesada del recipiente con el suelo y el cultivo o por un balance de entradas y salidas de agua; en el primer caso se trata de lisímetros de pesada y en el segundo de lisímetros de volumen o drenaje (García, Puppo, Hayashi, & Morales, 2012).

En lisímetros de drenaje, la evapotranspiración es medida por un período dado, restando la cantidad de agua de drenaje, recogida en el fondo de los lisímetros, de la cantidad total de agua ingresada. Un requerimiento de los lisímetros es que la vegetación dentro e inmediatamente fuera del lisímetro sea idéntica (la misma altura e índice de área foliar) (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

El lisímetro aplica el concepto del balance hídrico del suelo a la programación de riego; es el único método disponible para medir directa y continuamente el contenido de humedad de un suelo. Los lisímetros proporcionan el método de campo más fiable para estudiar la evapotranspiración. (Fernández, Martínez, Tavarez, Castillo, & Salas, 2010).

La determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o de referencia (ETo) mediante lisimetría se calcula mediante la siguiente relación:

$$ETc \text{ o } ETo = Da - Dd$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm).

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm).

Da: Cantidad de agua aplicada (mm)

Dd: Cantidad de agua drenada (mm) (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

E. CULTIVO DE ZANAHORIA

1. Características del cultivo

La zanahoria es una raíz que se conoce y cultiva alrededor del mundo. Esta es conocida debido a ser un alimento funcional muy importante. (López, 2011)

La variedad que cubre la mayoría de cultivos es Chantenay, ésta es muy común en los agricultores tradicionales por el bajo costo de la semilla. La siembra de esta variedad se realiza al voleo y el promedio de rendimiento es de aproximadamente 10 t/ha (López, 2011)

a. Origen

La zanahoria es originaria de la región de Afganistán.

b. Taxonomía

- 1) Nombre común: Zanahoria
- 2) Nombre científico : *Daucus carota*
- 3) Familia: Apiacea
- 4) Género: Daucus
- 5) Especie: Carota (Ávila, 2015)

c. Descripción botánica

Es una planta bianual, posee un sistema radical constituido por la raíz pivotante, la cual se tuberiza en su parte superior (parte comestible); el tallo en el ciclo vegetativo se encuentra a ras del suelo; las hojas son pubescentes, con segmentos lobulados y aparecen 1 o 2 semanas después de la germinación; las flores son pequeñas, blancas y hermafroditas, y formadas por umbelas compuestas; las semillas presentan un peso que varía entre 0,8 y 3 gramos por cada 1000 semillas. (Infoagro, 2017)

d. Requerimientos edafoclimáticos

Se adapta desde los 300 a los 2.900 m.s.n.m.; requiere una temperatura óptima entre 15° y 21 °C soportando una mínima de 9°C y máxima 28° C; Humedad relativa del 70 al 80 %; un requerimiento hídrico medio 600 mm al año; necesita de suelos profundos y sueltos, de textura arcillo arenoso, franco, ligero y aireado, bien drenados, con pendiente inferior al 15%, con un pH de 5,8 a 7 (Ávila, 2015).

e. Variedades

Las variedades de zanahorias también se clasifican en Chantenay, Nantes, Imperator, Danvers, Bangor. Entre las cuales la más cultiva es la que se describe a continuación:

- 1) Chantenay

Raíz de corona ancha con diámetro entre 5 y 6 cm. De tipo cónico corto. Comercialmente se manejan dos tipos:

- a) Chantenay Corazón rojo con ciclo de vida de 70 días hasta la cosecha, de buen sabor, zanahorias gruesas en el cuello y delgadas de abajo, con punta redondeada y alta productividad (Ávila, 2015).
- b) Real Chantenay su color anaranjado es más brillante, y se desenvuelven bien en suelos pesados o superficiales (Ávila, 2015).

2. Etapas de desarrollo de la zanahoria

Las etapas de desarrollo comprenden desde la emergencia, crecimiento y elongación vegetativa, y engrosamiento de la raíz.

a. Emergencia

Transcurridos de 10 a 15 días de la siembra empieza a emerger el hipocótilo (Caicedo Jácome & Sono Heredia, 2014).

b. Fase vegetativa desarrollo de raíces absorbentes y hojas

Desarrollo del primer par de hojas verdaderas, a la vez que se desprenden los cotiledones o falsas hojas. Durante esta fase se genera el crecimiento en longitud de la raíz, presentando al final de esta etapa el 80% de la longitud total del producto (Ávila, 2015).

c. Engrosamiento de la raíz

Se acumulan carbohidratos; el engrosamiento no cesa mientras las hojas permanezcan aproximadamente tiene 10 hojas (Ávila, 2015).

3. Labores pre culturales

a. Preparación del suelo

La preparación de suelo debe de consistir en una arada, para después dar los pases de rastra que sean necesarios, todo esto con una humedad adecuada para lograr una buena estructura que permita el fácil crecimiento de la raíz de la zanahoria (Lardizábal, 2013).

b. Elaboración de camas

Para realizar la siembra se requieren camas altas de por lo menos 40 a 90 cm de ancho, separadas entre sí 40 a 45 cm y trazadas con curvas de nivel, de esta manera se promueve la aireación y buen drenaje, alcanzando un crecimiento adecuado de la zanahoria y facilitando la aplicación de riego y demás labores del cultivo (Ávila, 2015).

4. Labores culturales

a. Siembra

La siembra se realiza de manera directa y generalmente a mano. Se requieren aproximadamente de 8 a 10 libras de semilla por hectárea y se deben sembrar a una profundidad de 1 a 1,5 cm. distancia final entre cada planta debe estar entre los 8 y 15 cm (Ávila, 2015).

b. Raleo

Consiste en retirar las plántulas que han germinado de más para dejar una planta cada 8 a 15 cm. Se realizan dos raleos cada 10 días comenzando 30 a 40 días después de la siembra. La labor se hace manualmente y con el suelo húmedo para evitar dañar las plantas que quedan (Ávila, 2015).

c. Control de malezas

Es una de las hortalizas más sensible a la competencia con las malas hierbas, por tanto la protección durante las primeras fases es fundamental. Se lo puede realizar de forma manual y con control químico usando herbicidas preemergentes y postemergentes. (Lardizábal, 2013).

d. Control de plagas y enfermedades

- a) Las principales plagas son: gallina ciega (*Pylophaga sp.*), diabrotica (*Diabrotica sp.*), Nemátodos (*Meloydogine sp.*) (Lardizábal, 2013)

- b) Las principales enfermedades son: Mal de Talluelo (Damping Off), quemazón de las Hojas (*Alternaria sp.*), Oidio (*Erysiphe umbelliferarum*) (Ávila, 2015).

e. Fertilización

En términos generales el cultivo de zanahoria necesita 120 kg/ha de nitrógeno, 100 kg/ha de P₂O₅, 300 kg/ ha de K₂O, 100 kg/ha CaO y 50 kg/ha de MgO, que deben ser aportadas de manera fraccionada en la siembra y durante su desarrollo (Ávila, 2015).

f. Cosecha

La zanahoria se encuentra lista para ser cosechada aproximadamente a los 4 o 5 meses después de la siembra; previo a la cosecha es necesario verificar el diámetro de la raíz la cual debe ser de 4 a 5 cm. (Ávila, 2015).

Según Morales (1995), el tiempo a la cosecha es muy variable ya que depende del cultivar, condiciones ambientales y nutricionales, normalmente se cosechan raíces que han alcanzado un tamaño cercano al máximo aproximadamente a los 70 a 90 días después de la siembra, aunque algunos cultivares requieren hasta 120 días.

5. Requerimientos hídricos del cultivo

Es un cultivo muy exigente en riegos especialmente cuando se realiza sobre suelos secos (Infoagro, 2017).

Por su sistema radicular bien desarrollado y por la estructura de sus hojas, la zanahoria soporta bien las sequías ligeras una vez que el cultivo se ha establecido bien. Se ha demostrado que la irrigación es esencial para obtener buenos rendimientos (Morales , 1995).

Para establecer el riego en el cultivo de la zanahoria, se deben conocer los requerimientos hídricos de la planta y las condiciones de precipitación de la zona donde se va a implementar el cultivo. De esta forma se garantiza que la planta disponga del

agua que necesita, ya que el estrés hídrico puede ocasionar pérdidas significativas en la producción, bien sea por falta o por exceso de agua (Ávila, 2015).

Según Caicedo Jácome & Sono Heredia (2014), se dan en promedio de 6 a 10 riegos, teniendo mucho cuidado de que no le haga falta en la etapa adulta (después de los 70 días), lo cual provocaría rajaduras en la parte comestible de la zanahoria.

a. Períodos críticos para el riego en el cultivo de zanahoria

Existen tres periodos críticos como se menciona a continuación:

Según Ávila (2015), el primero de estos momentos es el período de emergencia en el cual se requieren riegos cortos y frecuentes, que también indican Caicedo Jácome & Sono Heredia (2014), que va desde la emergencia hasta que las plantas emiten las dos primeras hojas verdaderas. En la etapa de desarrollo de las hojas y la elongación de la raíz, las necesidades de agua crecen paralelamente al desarrollo del sistema foliar. En la última etapa se debe aportar agua de forma incremental con el fin de estimular el engrosamiento.

Un cultivo regado de forma progresiva en función del estado de desarrollo de las raíces produce un aumento del rendimiento en mayores calibres. Produce raíces más lisas con las lenticelas menos marcadas (Caicedo Jácome & Sono Heredia, 2014).

Morales (1995), menciona que con algunos cultivares de zanahoria el mejor rendimiento se obtiene con 48 a 54% de agua en el suelo. Y estudios de la Universidad Estatal de Colorado mediante sensores para monitorear el contenido de agua en el suelo y determinar el momento oportuno para regar bajo sus condiciones de clima y suelo, los mejores rendimientos se dieron cuando el suelo llegaba a 40% de su capacidad de campo.

En términos generales la zanahoria requiere una lámina de riego de 2,5 a 4 cm/día con una frecuencia de 7 a 14 días que va a depender de factores como tipo de suelo, exigencias del cultivar, condiciones climáticas y etapas del cultivo (Morales, 1995).

6. Rendimiento

Producción de zanahoria en el Ecuador ha ido incrementando durante los últimos años, a continuación se observa la superficie, producción y rendimiento de zanahoria.

Tabla 4. Producción de zanahoria en el Ecuador en el 2014

Zanahoria	Cantidad	Unidad
Rendimiento	6167,12	Kg/ha
Producción	38193,00	Tn
Área cosechada	6193,00	Ha

Fuente: (FAOSTAT, 2017)

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización del ensayo

La presente investigación se llevó a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales en el Centro Experimental de Riego (CER).

2. Ubicación geográfica

- Latitud: 1° 39' 04'' S
- Longitud: 78° 40' 49'' O
- Altura: 2850 m.s.n.m. (Estación Meteorológica ESPOCH, 2017.)

3. Características climáticas

- Precipitación: media anual 510 mm/año
- Temperatura: media anual 13,5 °C
- Humedad relativa: media anual 62,06 %
(Estación Meteorológica ESPOCH, 2017.)

4. Clasificación ecológica

Según Holdrige (1982), la localidad se encuentra en el rango de estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB).

B. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

- Número de tratamientos: 3
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 9

1. Parcela

• Forma:	Cuadrado
• Longitud:	34 m
• Ancho:	34 m
• Número de camas por tratamiento:	16
• Distancia de siembra:	
Distancia entre hileras:	0,20 m
Distancia entre plantas:	0,12 m
• Número de plantas por parcela:	2666
• Número de plantas evaluadas por parcela:	10
• Área neta del ensayo:	900 m ²
• Área total del ensayo:	1156 m ²

2. Tratamiento

• Ancho de la parcela:	10 m
• Longitud de la parcela:	10 m
• Área de cada parcela:	100 m ²
• Distancia entre parcela:	2 m
• Número de plantas por cama:	166
• Número de plantas por parcela:	2656
• Número de hileras por parcela neta:	8
• Número de plantas por hileras por parcela neta:	120
• Número de plantas por parcela neta:	960
• Número de plantas a evaluar:	10

C. DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Características del diseño

Se realizó un diseño bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones

2. Esquema de análisis de varianza

CUADRO 1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ADEVA)

Fuente de Variación	Fórmula	Gl
Repetición	R-1	2
Tratamiento	T-1	2
Error	(R-1)(T-1)	4
Total	(R*T)-1	8

Fuente: Yumbo, J. 2018

3. Análisis funcional

- Se hizo la prueba de TUKEY al 5% cuando existió diferencia significativa entre los tratamientos
- Se realizó el análisis económico Beneficio/Costo

D. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Material biológico de la investigación

Semillas de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay.

2. Materiales y equipos

- Sistema de riego por goteo
- Lisímetros de drenaje
- Sistema de drenaje para lisímetros
- Bomba de mochila
- Cámara fotográfica
- Balanza
- Calibrador
- Tanque evaporímetro tipo A
- Pluviómetro
- Tensiómetros de 15 y 30 cm de profundidad
- Barreno
- Cajas metálicas
- Estufa
- Probeta
- Flexómetro
- Piolas
- Estacas

- Azadón
- Azada
- Rastrillo
- Nivel
- Recipiente plástico de 20 lt para sobre dosificar el riego
- Botas
- Guantes
- Mascarilla
- Rótulos de identificación
- Fertilizantes
- Fungicidas
- Insecticidas
- Libreta de campo

3. Materiales de oficina

- Libreta
- Lápiz
- Regla
- Calculadora
- Computadora
- Flash memory
- Hojas de impresión
- Impresora.

E. MÉTODOS

La investigación fue de tipo experimental estableciendo los requerimientos del cultivo por tratamientos mediante el uso de variables cuantitativas continuas. Comparando la eficiencia del método, al aplicar fórmulas establecidas vs la determinación directa por medio del Lisímetro y evaporímetro. La descripción de los tratamientos se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Descripción
T1 (Tanque evaporímetro tipo A)	Tomamos lecturas la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A y aplicamos el riego, la lámina de riego se aplicó una vez que se haya consumido el 25% del agua útil
T2 (Fórmulas empíricas FAO)	Calculamos la evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO, la lámina de riego se aplicó una vez que se haya consumido el 25% del agua útil.
T3 (Lisimetría)	Medimos la evapotranspiración del cultivo con la

utilización de lisímetros de drenaje, las láminas de riego se aplicó una vez que el lisímetro deje de drenar

Fuente: Yumbo J. 2018

Un efecto de la aplicación de láminas de riego distintas, es la modificación del ciclo fenológico del cultivo, que es distinto dependiendo de los tratamientos; por ello, se hace necesario en primer lugar identificar las etapas fenológicas, con esto podemos calcular el Kc y las necesidades hídricas de cada tratamiento.

1. **Evaluación del método más apropiado para determinar la lámina de riego en cultivo de zanahoria**

Para la evaluación del método más apropiado para la determinar la lámina de riego en el cultivo de zanahoria, se realizó en función de los requerimientos hídricos del cultivo calculada por medios directos y mediante el uso de fórmulas preestablecidas, durante todo el ciclo, y correlacionando con el rendimiento y huella hídrica.

a. Identificación y determinación de las etapas fenológicas del cultivo de zanahoria.

Durante el ciclo de cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay se determinaron cuatro etapas fenológicas, según el detalle de la tabla 6: etapa inicial, etapa de desarrollo, etapa intermedia y etapa final mediante una visualización directa.

Tabla 6. Descripción de las etapas fenológicas del cultivo de zanahoria.

Etapas fenológicas	Descripción
Etapas inicial	Esta etapa se inició desde el día de la siembra hasta cuando se observó el 90% de emergencia de las plantas de la parcela neta. Código 09 según escala BBCH (Emergencia: Los cotiledones salen a la superficie del suelo)
Etapas de desarrollo	La etapa de desarrollo empieza al culminar la etapa inicial, y se llevó a cabo hasta que el 70% de plantas de la parcela neta formaron las hojas verdaderas. Código 12 según escala BBCH (Segunda hoja verdadera desplegada)
Etapas intermedia	Esta etapa se produjo cuando finalizó la etapa de desarrollo

	hasta cuando el 70% de las plantas de la parcela neta iniciaron a engrosar las raíces. Código 41 según escala BBCH (La cabeza comienza a formarse: las dos hojas más jóvenes no se desenrollan) cambio al color típico de la raíz de la zanahoria, de crema a anaranjado.
Etapas final	Esta etapa inició cuando culminó la etapa intermedia, hasta cuando las plantas de la parcela neta presentaron el 70% del diámetro comercial de la raíz. Código 49 según la escala BBCH (Tamaño, forma y firmeza de la cabeza, típicos) cuando el diámetro aproximado del hombro de la raíz fue de 4,5 a 5 cm.

Fuente: Yumbo J. 2018

b. Determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de zanahoria.

Para determinar el requerimiento hídrico de los tratamientos se lo hizo de manera diferenciada en función de la naturaleza de cada tratamiento. Según se indica en la tabla 7.

Tabla 7. Forma de determinación de los requerimientos hídricos según los tratamientos.

Tratamiento	Forma de determinación de los requerimientos hídricos
T1 (Tanque A)	Para este método se obtuvo la información de las lecturas en el tanque evaporímetro tipo A de la estación meteorológica de la ESPOCH desde el día de la siembra hasta la cosecha, y se aplicaron directamente las láminas de riego dependiendo de la evaporación acumulada. Se realizaron los riegos cuando el 25 % del agua útil se consumió.
T2 (Fórmulas FAO)	<p>Para determinar el requerimiento hídrico mediante este método se aplicó la siguiente fórmula:</p> $Etc = Eto * kc$ <p>Dónde:</p> <p>Etc= Corresponde a la evapotranspiración del cultivo, o requerimientos netos de agua, expresado en mm/día.</p> <p>Eto= Corresponde a la evapotranspiración de referencia o demanda climática por agua, también expresada en mm/día.</p> <p>Kc= Corresponde a un factor de corrección, que permite transformar la ETo en consumo de agua por el cultivo. . (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)</p> <p>La reposición hídrica se realizó cuando se consumió el 25% del agua útil.</p> <p>Para determinar la Eto se tomaron datos meteorológicos desde el día de la siembra hasta la cosecha de evaporación; humedad relativa, velocidad del viento y barlovento que interpolando se obtuvo el kp que utilizó la siguiente fórmula:</p> $Eto = Ev * Kp$

Dónde:

Eto = Evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/día)

Ev = Evaporación acumulada (mm)

Kp = datos climáticos: humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), barlovento. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

Los datos meteorológicos fueron tomados y registrados diariamente.

Para determinar el Kc se utilizó la fórmula de Hargraves determinada por la siguiente ecuación:

$$Kc = 0,01335 + (0,04099 * C) - (0,0004 * (C^2))$$

Dónde

Kc = Coeficiente de cultivo

C= Porcentaje de desarrollo del cultivo en el día en que se calculó. . (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

T3 (Lisímetro)

Para la evapotranspiración del cultivo (Etc) de forma lisimétrica se tomó lectura y registro de drenaje del agua de los lisímetros, que se realizó en períodos de cada 24 horas, y se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Etc = R - D$$

Dónde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

R = Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

D = Agua drenada durante el periodo de análisis (mm) (León, 2008)

La evapotranspiración de referencia (E_{to}) fue determinada de forma lisimétrica dado por la evapotranspiración de una gramínea en este caso reygras mediante la siguiente ecuación:

$$E_{to} = R - D$$

Dónde:

E_{tc} = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

R = Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

D = Agua drenada durante el periodo de análisis (mm) (León, 2008)

La frecuencia de riego por este método estuvo dada cuando el lisímetro dejó de drenar.

Fuente: Yumbo J. 2018

Los datos obtenidos de la aplicación de los tratamientos correlacionando con los días de cada etapa fenológica se obtuvo la lámina de riego (lt/m^2) total que se aplicó por etapa, de la misma manera el número de riegos y la frecuencia con su lámina de riego (lt/m^2) en cada etapa. Al final del ciclo con la suma de acumulada de los riegos se obtuvo un volumen total de agua aplicado (lt/m^2) para cada tratamiento.

c. Variables y métodos de evaluación

Paralelamente a la determinación de las etapas fenológicas y requerimientos hídricos del cultivo se tomaron datos de las siguientes variables:

1) Porcentaje de emergencia

Se evaluó el número de plantas emergidas a los 20 días después de la siembra, lo cual se expresó en porcentaje.

2) Altura de plantas

La altura de la planta se midió en cm con la ayuda de un flexómetro desde la base del tallo hasta el ápice de la planta a los 30, 60, 90 días después de la siembra hasta la cosecha, de 10 plantas muestra tomadas al azar.

3) Diámetro de hombro de la raíz

El diámetro del hombro de la raíz se midió en cm con la ayuda de un calibrador a los 30, 60, 90, días después de la siembra hasta la cosecha de 10 plantas muestra tomadas al azar.

4) Longitud de la raíz a la cosecha

La longitud de la raíz se midió con la ayuda de un flexómetro en cm luego de la cosecha de las 10 plantas muestra tomadas al azar.

5) Peso de la raíz a la cosecha

Se tomó el peso de la raíz en g con la ayuda de una balanza de las 10 plantas muestra tomadas al azar.

6) Rendimiento en ton/ha

El peso en g de las raíces de la parcela neta fueron tomados para expresarlos en ton por ha total y clasificados en categorías para cada tratamiento.

7) Contenido de materia seca de la planta, hoja y raíz

Se determinó la materia seca de las 10 plantas tomadas al azar.

Se realizó la separación de la raíz y la hoja, y se colocó en bolsas de papel registrando el peso fresco de la raíz, hoja y peso fresco total de la planta con su respectiva etiqueta que se puso en la estufa a 100 °C durante 24 horas hasta obtener un peso constante, con el cual se obtuvo el peso seco de la muestra.

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$PST = \frac{PFT * PSM}{PFM} * 100$$

Dónde:

PST: Peso seco total

PFT: Peso fresco total

PSM: Peso seco de la muestra

PFM: Peso fresco de la muestra (León J. , Texto básico de Riego, 2008)

Para la valoración de la materia seca de la planta se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ materia seca} = \frac{\text{Peso de materia seca}}{\text{Peso de materia húmeda}} * 100$$

(León J. , 2008)

2. Determinación del coeficiente de cultivo (kc) ajustado en la zanahoria

a. Determinación del coeficiente de cultivo (kc) mediante Fórmulas FAO

Se determinó el coeficiente de cultivo mediante la fórmula de Hargraves:

$$Kc = 0,01335 + (0,04099 * C) - (0,0004 * (C^2))$$

Dónde

Kc = Coeficiente de cultivo

C= porcentaje de desarrollo del cultivo en el día en que se calculó. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

En base a la duración del ciclo de cultivo e identificando los valores en cada etapa de desarrollo se realizó la gráfica.

b. Determinación del coeficiente de cultivo (kc) mediante Lisimetría

Se obtuvo el coeficiente de cultivo por el método del lisímetro utilizando la siguiente fórmula:

$$Kc = Etc/Eto$$

Dónde:

Kc= Coeficiente del cultivo (adimensional)

Etc =Evapotranspiración del cultivo (mm día)

Eto =Evapotranspiración de referencia (mm día) (León, 2008)

Obtenido los valores de Etc y Eto diario se realizó los gráficos con los valores que se presentan en cada etapa de desarrollo.

3. Huella hídrica

Para obtener la huella hídrica se sumó los aportes de riego y precipitación efectiva para cada tratamiento y se correlacionará con parámetros de rendimiento con la siguiente fórmula:

$$HH = \frac{V}{R}$$

Dónde:

HH= Huella hídrica

V= Volumen total de agua utilizado en la producción (lt/ha)

R= Rendimiento total (kg/ha) (FAO, 2014)

4. Análisis económico

El análisis económico se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$R/C = \frac{IT}{CT}$$

Dónde:

R/C= Relación beneficio-costo

IT= Ingresos totales por venta del producto.

CT= Costo total de producción. (López, 2011)

F. MANEJO DEL ENSAYO

1. Labores preculturales

a. Preparación del suelo

Se realizó con la ayuda de un tractor con la utilización de la rastra.

b. Distribución de la parcela

Se realizó la delimitación de las nueve parcelas las cuales constituirá el ensayo, distribuidas en tres tratamientos cada uno con tres repeticiones, ver anexo 1.

c. Instalación de los lisímetros de drenaje

Para la instalación de los lisímetros de drenaje se tomó las siguientes consideraciones:

- El borde del lisímetro debe sobrepasar el nivel del suelo en 5cm para evitar el ingreso de agua superficial por precipitaciones.
- Las capas de suelo dentro del lisímetro poseen la misma característica que el suelo del exterior del lisímetro determinado mediante la utilización de un presionómetro; simulando así las mismas condiciones edáficas (León ,2016)

Para determinar el volumen de agua a aplicar dentro del lisímetro, se utilizó la siguiente relación matemática dada por (Garay, 2009):

$$Va = (* Eto \times ND \times Al)c$$

Dónde:

Va = Volumen a aplicar

Eto = Evapotranspiración de referencia(mm/día)

Al = Area del lisímetro(m²)

c = Coeficiente de seguridad para efectuar drenaje (Garay, 2009)

d. Formación de camas

Se realizó de forma manual con la ayuda de azadón, azada, piola y flexómetro, cuyas dimensiones fueron: ancho de 0,40 m y largo de 10m

e. Instalación del riego a goteo.

Se utilizó cinta de goteo no auto compensado con goteros cada 15 cm con un caudal de 1,65 lt/h con una línea por lomo y de acuerdo a la longitud de la parcela para así tener un caudal homogéneo.

f. Determinación del contenido de humedad inicial

Previo a la aplicación de las láminas de riego en cada tratamiento se procedió a determinar el contenido de humedad del suelo y luego aplicar láminas de riego para llegar a capacidad de campo en todo el ensayo, para tener un contenido de humedad uniforme; la disponibilidad de agua en el suelo fue determinada mediante el siguiente método:

- Método gravimétrico: Determinamos el porcentaje de humedad inicial que contiene el suelo, tomando una muestra de cada uno de los tratamientos, a una profundidad de 30 cm en el lomo de cada surco, esta profundidad se considera en relación a la profundidad radicular que el cultivo de zanahoria se desarrolla, estas muestras se llevaron a una estufa para comparar pesos húmedos y secos de la muestra para determinar el contenido de humedad; aplicando la fórmula citada por (Enciso , Porter, & Péries, 2005):

$$\%H = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100$$

Dónde:

%H = Porcentaje de humedad por peso

PSH = Peso de la muestra húmeda

PSS = Peso de la muestra seca, muestra de suelo pesado después de colocar en la estufa (105°C) durante 24 horas.

Luego se obtuvo la humedad en volumen mediante la fórmula señalada por (García, Puppo, Hayashi, & Morales, 2012)

$$HV\% = \%H * DAp$$

Dónde:

%HV= Porcentaje de humedad por peso

%H= Porcentaje de humedad gravimétrico

D_{Ap}= Densidad aparente del suelo

g. Fertilización

Se hizo una fertilización edáfica de manera fraccionada de acuerdo a los requerimientos del cultivo y la etapa de desarrollo.

2. Labores culturales

a. Siembra

Se realizó una siembra a choro continuo

b. Raleo

Se realizó una vez que exista un porcentaje de emergencia mayor al 80 %.

c. Riego

Se proporcionó de agua al cultivo mediante un sistema de riego por goteo, de acuerdo a los tratamientos establecidos y comportamiento climático, para lo cual se determinó las ofertas y demandas del cultivo en tiempo real.

d. Control de malezas

Se realizó de forma manual y química de acuerdo a la incidencia de los mismos

e. Control fitosanitarios

Se realizó un control integrado de acuerdo a la incidencia en el cultivo

f. Cosecha

Se realizó la cosecha cuando el 70% de las raíces de la parcela neta cuando llegaron al diámetro comercial.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. EVALUACIÓN DEL MÉTODO MÁS APROPIADO PARA DETERMINAR LA LÁMINA DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA.

1. Identificación de las etapas fenológicas del ciclo de cultivo.

Durante el ciclo de cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay, mediante una visualización directa se determinaron cuatro etapas fenológicas en base al crecimiento y desarrollo: Etapa inicial (BBCH 09), etapa de desarrollo (BBCH 12), etapa intermedia (BBCH 41) y etapa final (BBCH 49).

La duración de cada etapa fenológica se presenta en la siguiente figura:

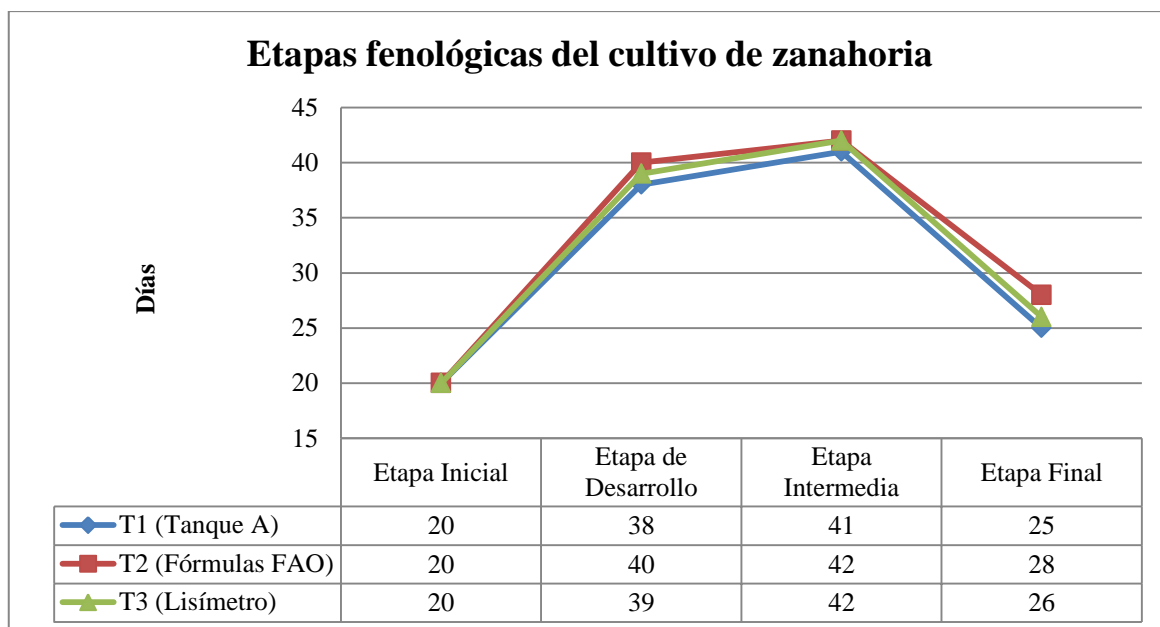


Figura 1. Duración de las etapas fenológicas del cultivo de la zanahoria en los diferentes tratamientos.

Fuente: Yumbo, J. 2018

Como se observa en la figura 1 en los tres tratamientos en la etapa inicial del cultivo zanahoria (*Daucus carota* L.) Var. Chantenay tuvo una duración de 20 días después de la siembra; La etapa de desarrollo presentó una duración de 38, 40 y 39 para T1, T2 y T3 respectivamente en la que hay poca diferencia ya que en esta etapa del cultivo todavía existe mayor evaporación que el proceso de transpiración; La etapa intermedia presentó una duración de 41 días para el T1, mientras que para T2 y T3 tuvieron valores similares con 42 días; La etapa final tuvo una duración para T1, T2, T3 con 25, 28 y 26

días respectivamente. Como resultado final se obtuvo que el ciclo total de cultivo que para T1 fue de 124 DDS, para el T2 de 130 DDS y para T3 de 127 DDS como se observa en la figura 2. Diferencia debido a las láminas de riego aplicadas en cada tratamiento.

Según lo señalado por (Caicedo Jácome & Sono Heredia, 2014) quienes manifiestan que en promedio la emergencia de la zanahoria puede llegar a durar entre 15 y 20 días después de la siembra; y (López López, Magaña Lira, & Vázquez Romero, 2014) menciona que como promedio en el cultivo de zanahoria la etapa de desarrollo puede llegar a durar 6 semanas que serían 42 días, para la etapa intermedia tiene una duración de 6 semanas que son 42 días, en la cual afirma (Ávila, 2015) que hay acumulación de carbohidratos y el engrosamiento no cesa, y la etapa final tiene una duración de 21 días que muestra cierta diferencia con los resultados obtenidos. Además (Bolaños, 1998) y (FAO, 2014) menciona que la época de siembra, zona, el clima, la genética y el manejo de la planta presentan una incidencia directa en la duración de las etapas fenológicas del cultivo adelantando o retrasando cada proceso.

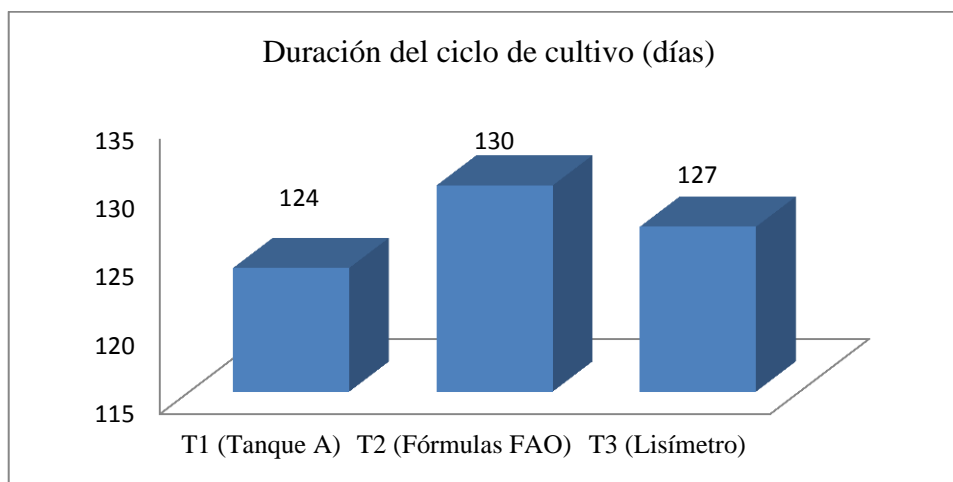


Figura 2. Duración total del ciclo de cultivo de la zanahoria.

Fuente: Yumbo, J. 2018

2. Requerimientos hídricos en láminas de agua aplicadas en el cultivo de zanahoria

a. Lámina de riego (lt/m^2) aplicada por cada etapa

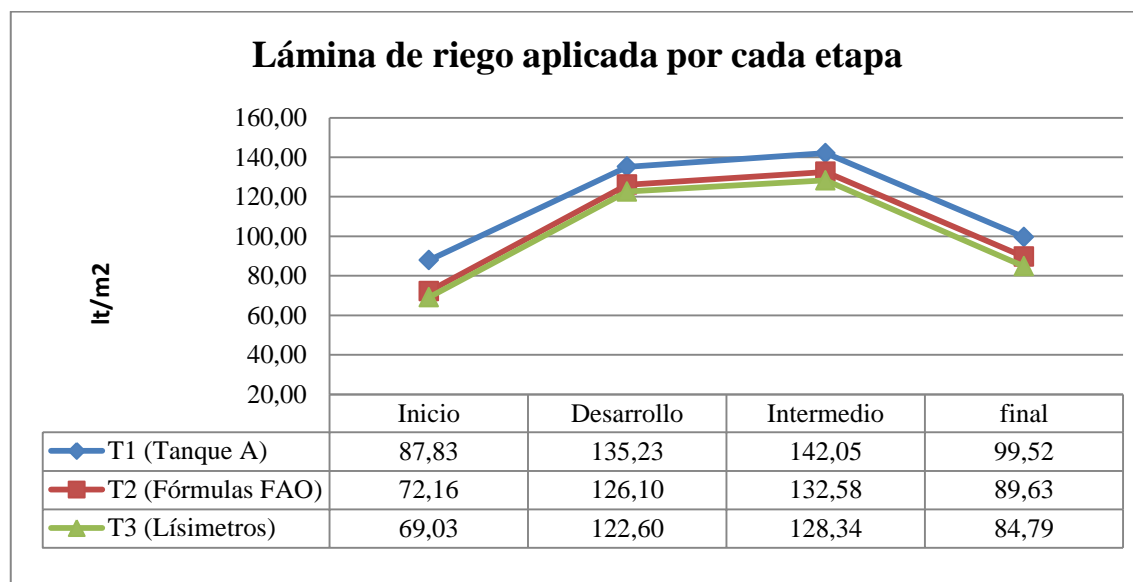


Figura 3. Volumen de agua (lt/m^2) aplicada en cada etapa del cultivo de zanahoria.

Fuente: Yumbo, J. 2018

En la figura 3 se puede observar el volumen de agua aplicado por etapa en lt/m^2 en el cual en:

Tanque A (T1) en la etapa inicial se aportó de $87.83 \text{ lt}/\text{m}^2$ por fase con un aporte diario de $4.39 \text{ lt}/\text{m}^2$, en el desarrollo de $135.23 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.56 \text{ lt}/\text{m}^2$, en el intermedio de $142.05 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.46 \text{ lt}/\text{m}^2$, y en el final de $99.52 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.98 \text{ lt}/\text{m}^2$.

Con las Fórmulas FAO (T2) en la etapa inicial se aportó de $72.16 \text{ lt}/\text{m}^2$ por fase con un aporte diario de $3.61 \text{ lt}/\text{m}^2$, en el desarrollo de $126.10 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.23 \text{ lt}/\text{m}^2$, en el intermedio de $132.58 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.16 \text{ lt}/\text{m}^2$, y en el final de $89.63 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.45 \text{ lt}/\text{m}^2$.

En los Lisímetros (T3) en la etapa inicial se aportó de $69.03 \text{ lt}/\text{m}^2$ por fase con un aporte diario de $3.45 \text{ lt}/\text{m}^2$, en el desarrollo de $122.60 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.07 \text{ lt}/\text{m}^2$, en el intermedio de $128.34 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.06 \text{ lt}/\text{m}^2$, y en el final de $84.79 \text{ lt}/\text{m}^2$ con un aporte diario de $3.03 \text{ lt}/\text{m}^2$.

b. Lámina, frecuencia y números de riego aplicadas en cada etapa del cultivo de zanahoria

CUADRO 2. LÁMINA, FRECUENCIA Y NÚMEROS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA EN LOS TRATAMIENTOS

Lámina, frecuencia y números de riego por etapa												
Tratamien	inicio			desarrollo			intermedio			final		
to	mm	fr(días)	# riego	mm	fr(días)	# riego	mm	fr(días)	# riego	mm	fr(días)	# riego
Tanque A	8,78	2	10	13,52	4	10	10,14	3	14	12,4	3	8
										4		
Fórmulas	7,22	2	10	9,70	3	13	9,47	3	14	9,96	3	9
FAO												
Lisímetros	6,90	2	10	9,43	3	13	9,16	3	14	9,42	3	9

Fuente: Yumbo, J. 2018

En el cuadro 2 se puede observar la lámina de riego, frecuencia y números de riegos por etapa en el cultivo de zanahoria en cada tratamiento:

Tanque A (T1) en la etapa inicial se proporcionó de 8.78 lt/ m² cada 2 días dando 10 riegos en la etapa, en el desarrollo de 13.52 lt/ m² cada 4 días con 10 riegos, en el intermedio de 10.14 lt/ m² cada 3 días con 14 riegos, y en el final de 12.44 lt/ m² cada 3 días con 8 riegos. En total el número de riegos para fue de 42.

Con las Fórmulas FAO (T2) en la etapa inicial se proporcionó de 7.22 lt/ m² cada 2 días dando 10 riegos en la etapa, en el desarrollo de 9.70 lt/ m² cada 3 días con 13 riegos, en el intermedio de 9.47 lt/ m² cada 3 días con 14 riegos, y en el final de 9.96 lt/ m² cada 3 días con 9 riegos. En total el número de riegos para fue de 46.

En los Lisímetros (T3) en la etapa inicial se proporcionó de 6.90 lt/ m² cada 2 días dando 10 riegos en la etapa, en el desarrollo de 9.43 lt/ m² cada 3 días con 13 riegos, en el intermedio de 9.16 lt/ m² cada 3 días con 14 riegos, y en el final de 9.42 lt/ m² cada 3 días con 9 riegos. En total el número de riegos para fue de 46.

c. Volumen total de agua aplicada en el cultivo de zanahoria

CUADRO 3. VOLUMEN TOTAL DE AGUA APLICADA (LT/M2) EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA EN LOS TRATAMIENTOS

Tratamiento	Volumen de agua aplicada (lt/m ²)	Abatimiento de la humedad aprovechable del suelo (25%)
Tanque A	464,63	25
Fórmulas FAO	420,47	25
Lisímetros	404,76	Cuando termine de drenar el lisímetro

Fuente: Yumbo, J. 2018

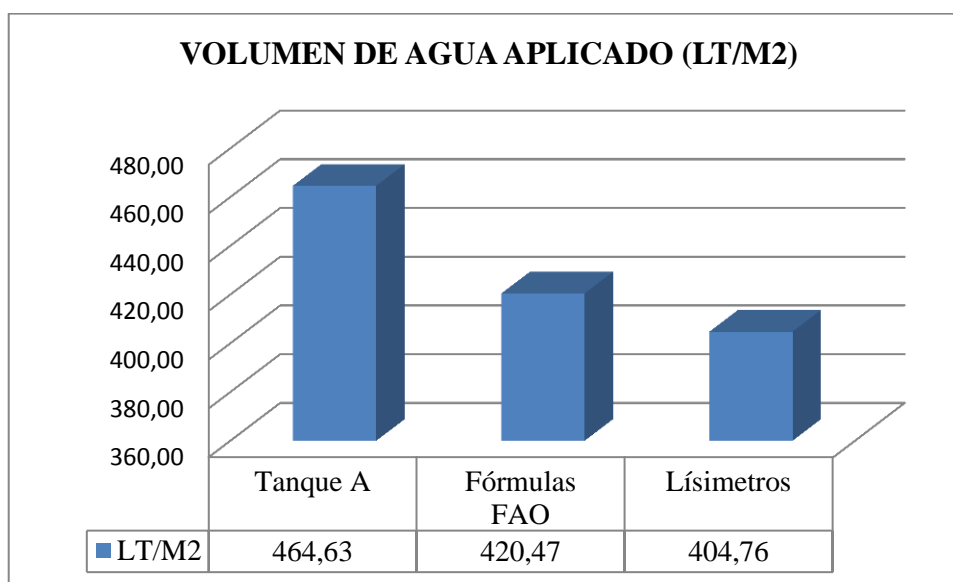


Figura 4. Volumen total de agua (lt/m²) aplicada en el cultivo de zanahoria.

Fuente: Yumbo, J. 2018

En el cuadro 3 y figura 4 se puede apreciar los resultados que muestran diferentes láminas de agua aplicadas en cada tratamiento en el ciclo de cultivo del zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay. En el Tanque A (T1) se aportó en total 464.63 lt/m² con las Fórmulas FAO (T2) fue de 420,47 lt/m² y en los Lisímetros (T3) de 404,76 lt/m². Observando la figura 4 el tratamiento con una mayor lámina de agua aplicada es para el Tanque A (T1) con 464.63 lt/m² y la menor lámina de agua aplicada para los Lisímetros (T3) con 404,76 lt/m².

3. Variables y métodos de evaluación

a. Porcentaje de emergencia

El análisis de varianza para emergencia a los 20 DDS (Cuadro 4), no se muestra diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 97.6 % y el coeficiente de variación fue de 0,23%.

CUADRO 4. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA EMERGENCIA A LOS 20 DDS.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,009	0,004	0,090	0,916	ns
Repeticiones	2	0,096	0,048	0,966	0,455	ns
Error	4	0,198	0,049			
Total	8	0,302				
cv	0,23					

Fuente: Yumbo, J. 2018

ns: No significativo

b. Altura de la planta

1) Altura de la planta a los 30 DDS (cm)

El análisis de varianza para la altura a los 30 DDS (Cuadro 5), no se muestra diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 6,40 cm y el coeficiente de variación fue de 6,63%.

CUADRO 5. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 30 DDS.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,14	0,07	0,38	0,71	ns
Repeticiones	2	0,36	0,18	1,01	0,44	ns
Error	4	0,72	0,18			
Total	8	1,22				
cv	6,63					

Fuente: Yumbo, J. 2018

ns: No significativo

2) Altura de la planta a los 60 DDS (cm)

El análisis de varianza para la altura a los 60 DDS (Cuadro 6), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 13,71 cm y el coeficiente de variación fue de 0,79%.

CUADRO 6. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 60 DDS.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	1,235	0,618	52,331	0,0014	**
Repeticiones	2	0,100	0,050	4,229	0,1031	ns
Error	4	0,047	0,012			
Total	8	1,382				
cv		0,79				

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 60 DDS (Figura 5), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1(Tanque A) con una media de 14,22 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 13.52 cm y Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 13,37 cm.

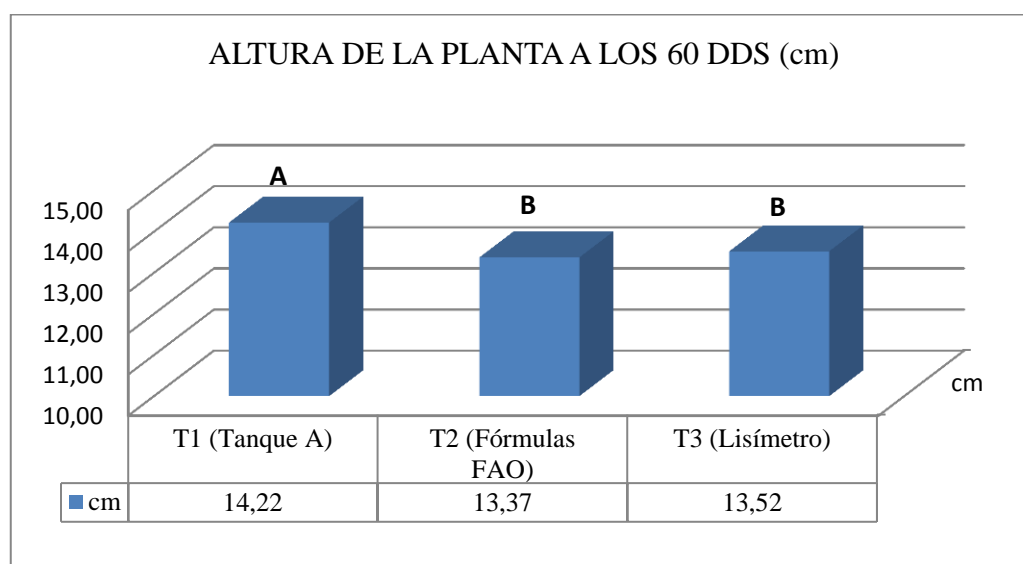


Figura 5. Altura de la planta de zanahoria a los 60 DDS.

Fuente: Yumbo, J. 2018

3) Altura de la planta a los 90 DDS (cm)

El análisis de varianza para la altura a los 90 DDS (Cuadro 7), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 17,66 cm y el coeficiente de variación fue de 0,71%.

CUADRO 7. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 90 DDS.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,699	0,349	22,415	0,007	**
Repeticiones	2	0,212	0,106	6,791	0,052	ns
Error	4	0,062	0,016			
Total	8	0,973				
cv	0,71					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 90 DDS (Figura 6), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1(Tanque A) con una media de 18,05 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 17,48 cm y Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 17,44 cm.

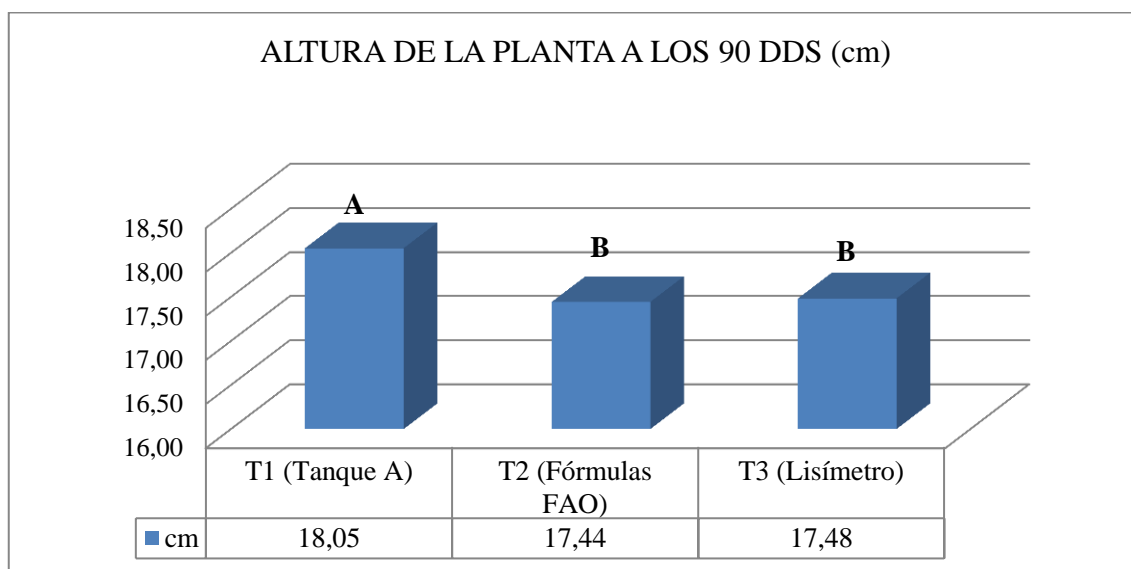


Figura 6. Altura de la planta de zanahoria a los 90 DDS.

Fuente: Yumbo, J. 2018

4) Altura de la planta a la cosecha (cm)

El análisis de varianza para la altura a la cosecha (Cuadro 8), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 22,83 cm y el coeficiente de variación fue de 0,70%.

CUADRO 8. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ALTURA DE LA PLANTA A COSECHA.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	2,362	1,181	46,484	0,002	**
Repeticiones	2	0,450	0,225	8,864	0,034	ns
Error	4	0,102	0,025			
Total	8	2,915				
cv	0,70					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a la cosecha (Figura 7), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1(Tanque A) con una media de 23,55 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 22,55 cm y Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 22,39 cm.

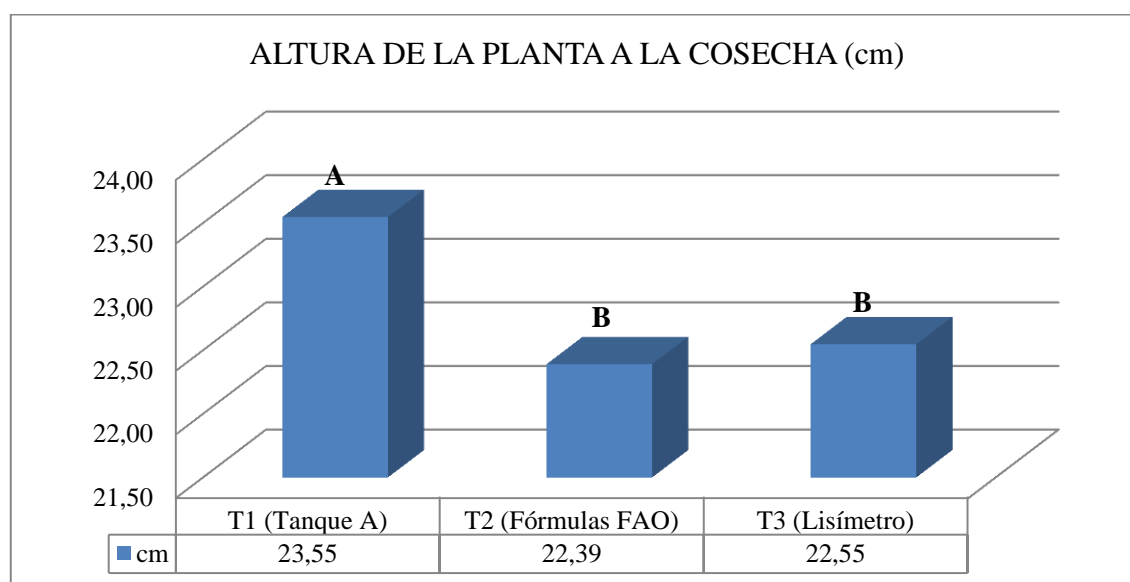


Figura 7. Altura de la planta de zanahoria a la cosecha.

Fuente: Yumbo, J. 2018

c. Diámetro del hombro de la raíz

1) Diámetro del hombro de la raíz a los 30 DDS

El análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a los 30 DDS (Cuadro 9), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 0,39 cm y el coeficiente de variación fue de 3,60%.

CUADRO 9. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO DEL HOMBRO DE LA RAÍZ A LOS 30 DDS.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	8,5E-03	4,3E-03	17,938	0,010	**
Repeticiones	2	5,6E-03	2,8E-03	11,886	0,021	*
Error	4	9,5E-04	2,4E-04			
Total	8	1,51E-02				
cv	3,60					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo

* : Significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro del hombro de la raíz a los 30 DDS (Figura 8), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 0,43 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 0,38 cm y Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 0,36 cm.

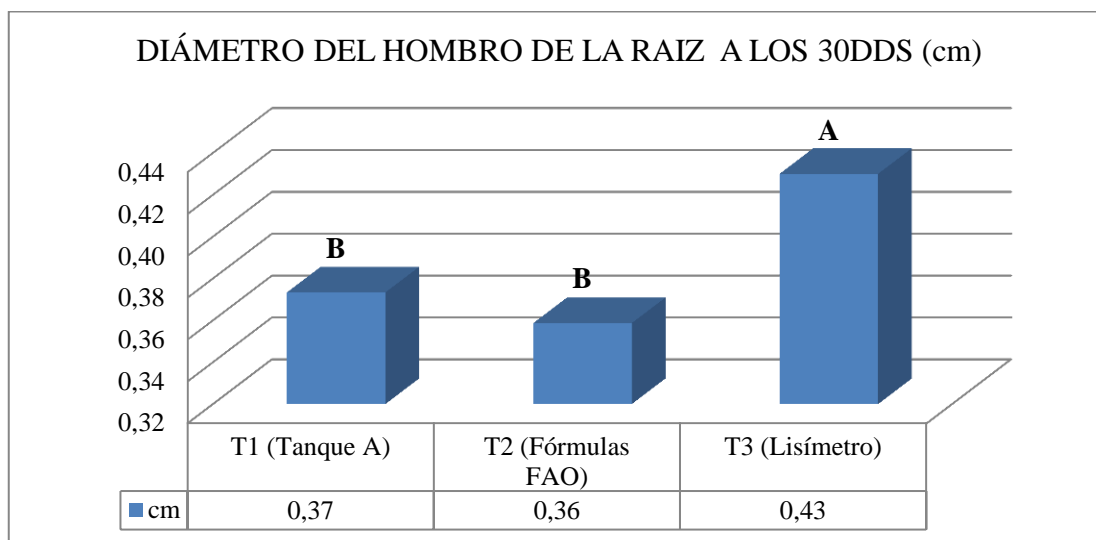


Figura 8. Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a los 30DDS.

Fuente: Yumbo, J. 2018

2) Diámetro del hombro de la raíz a los 60 DDS

El análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a los 60 DDS (Cuadro 10), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 0,93 cm y el coeficiente de variación fue de 4,11%.

CUADRO 10. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO DEL HOMBRO DE LA RAÍZ A LOS 60 DDS.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	3,10E-02	1,55E-02	11,2497	0,0228	**
Repeticiones	2	5,91E-03	2,95E-03	2,1406	0,2333	ns
Error	4	5,52E-03	1,38E-03			
Total	8	4,25E-02				
cv	4,11					

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo

*: Significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro del hombro de la raíz a los 60 DDS (Figura 9), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubican el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 0,98 cm y el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 0,97 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 0,85 cm.

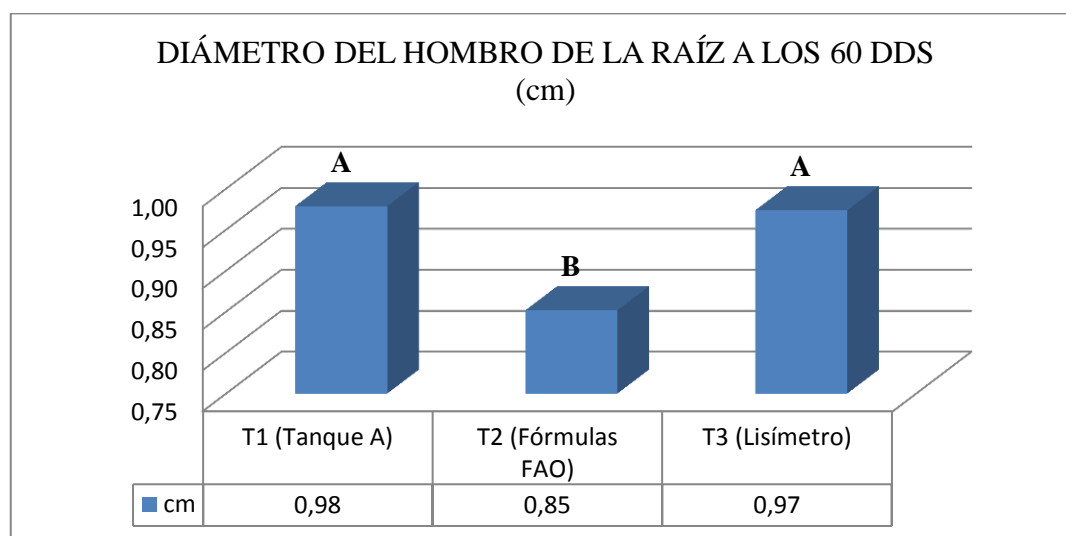


Figura 9. Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a los 60 DDS.

Fuente: Yumbo, J. 2018

3) Diámetro del hombro de la raíz a los 90 DDS

El análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a los 90 DDS (Cuadro 11), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 2,5 cm y el coeficiente de variación fue de 2,23%.

CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO DEL HOMBRO DE LA RAÍZ A LOS 90 DDS.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,045	2,25E-02	7,246	0,047	**
Repeticiones	2	0,003	1,41E-03	0,454	0,664	ns
Error	4	0,012	3,11E-03			
Total	8	0,060				
cv	2,23					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para diámetro del hombro de la raíz a los 90 DDS (Figura 10), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 2,58 cm, en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 2,50 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 2,41 cm.

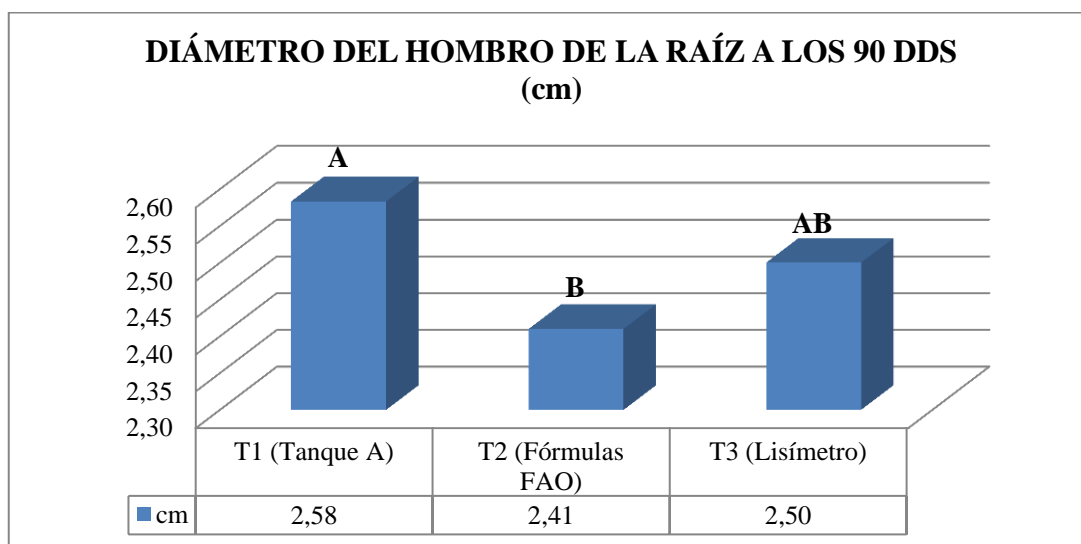


Figura 10. Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a los 90 DDS.

Fuente: Yumbo, J. 2018

4) Diámetro del hombro de la raíz a la cosecha

El análisis de varianza para el diámetro del hombro de la raíz a la cosecha (Cuadro 12), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 4,86 cm y el coeficiente de variación fue de 1,86%.

CUADRO 12. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO DEL HOMBRO DE LA RAÍZ A LA COSECHA.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,209	0,104	12,768	0,018	**
Repeticiones	2	0,023	0,011	1,404	0,345	ns
Error	4	0,033	0,008			
Total	8	0,264				
cv	1,86					

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro del hombro de la raíz a la cosecha (Figura 11), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 5,06 cm, en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 4,83 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 4,69 cm.

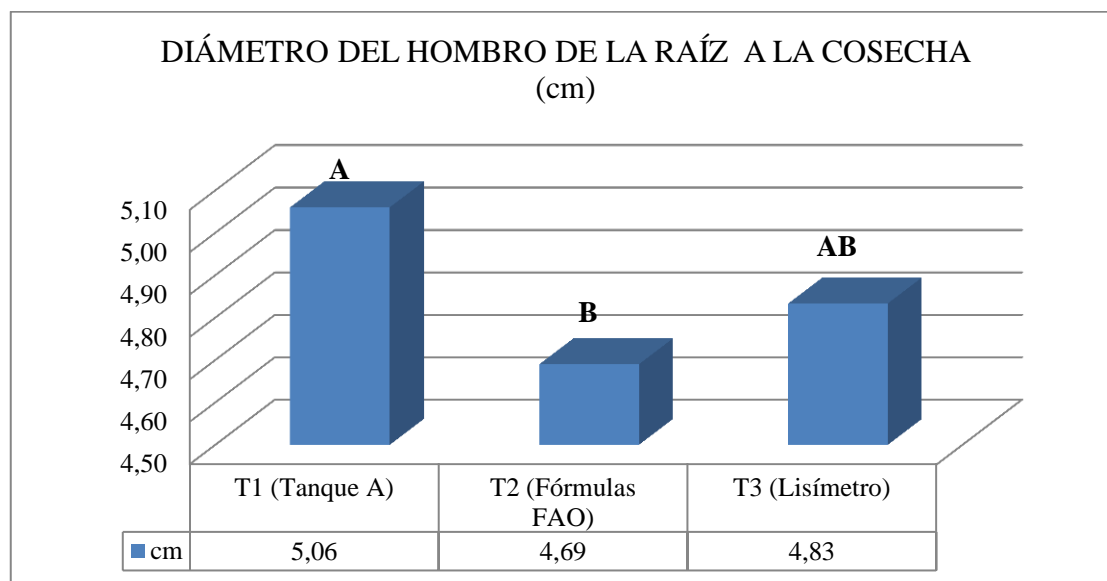


Figura 11. Diámetro del hombro de la raíz de zanahoria a la cosecha.

Fuente: Yumbo, J. 2018

d. Longitud de la raíz a la cosecha (cm)

El análisis de varianza para el largo de la raíz a la cosecha (Cuadro 13), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 14,54 cm y el coeficiente de variación fue de 2,48%.

CUADRO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL LARGO DE LA RAÍZ A LA COSECHA.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	2,944	1,472	11,290	0,023	**
Repeticiones	2	0,146	0,073	0,559	0,611	ns
Error	4	0,522	0,130			
Total	8	3,611				
cv	2,48					

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el largo de la raíz a la cosecha (Figura 12), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 15,14 cm, en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 14,72 cm, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 13,77 cm.

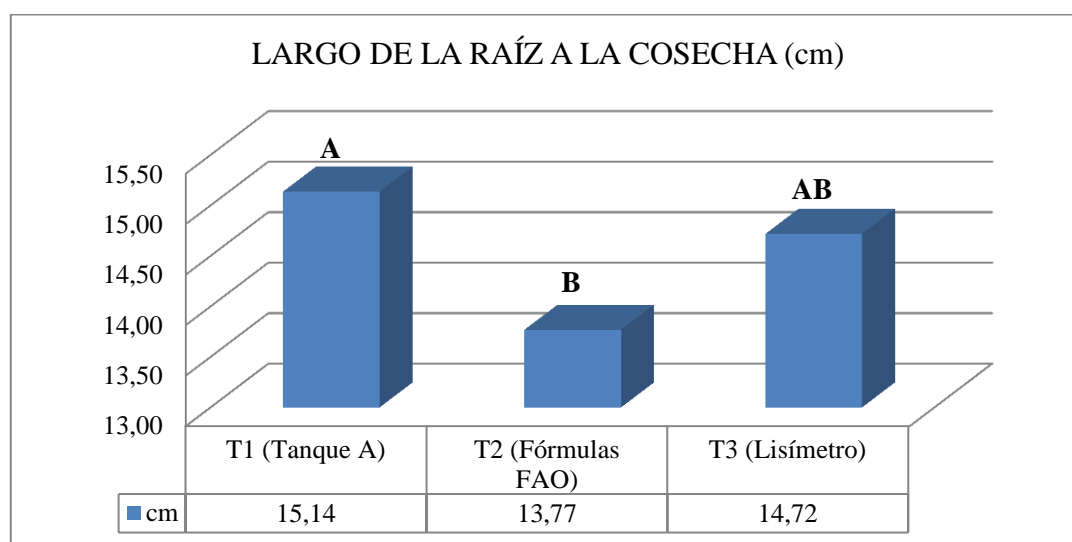


Figura 12. Largo de la raíz de zanahoria a la cosecha.

Fuente: Yumbo, J. 2018

e. Peso de la raíz a la cosecha (g)

El análisis de varianza del peso raíz a la cosecha (Cuadro 14), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 193,23 g y el coeficiente de variación fue de 7,08%.

CUADRO 14. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE LA RAIZ A LA COSECHA.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	4682,107	2341,053	12,502	0,019	**
Repeticiones	2	148,220	74,110	0,396	0,697	ns
Error	4	749,013	187,253			
Total	8	5579,340				
cv	7,08					

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el peso de la raíz a la cosecha (Figura 13), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 219,23 g en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 196,77 g, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 163,70 g.

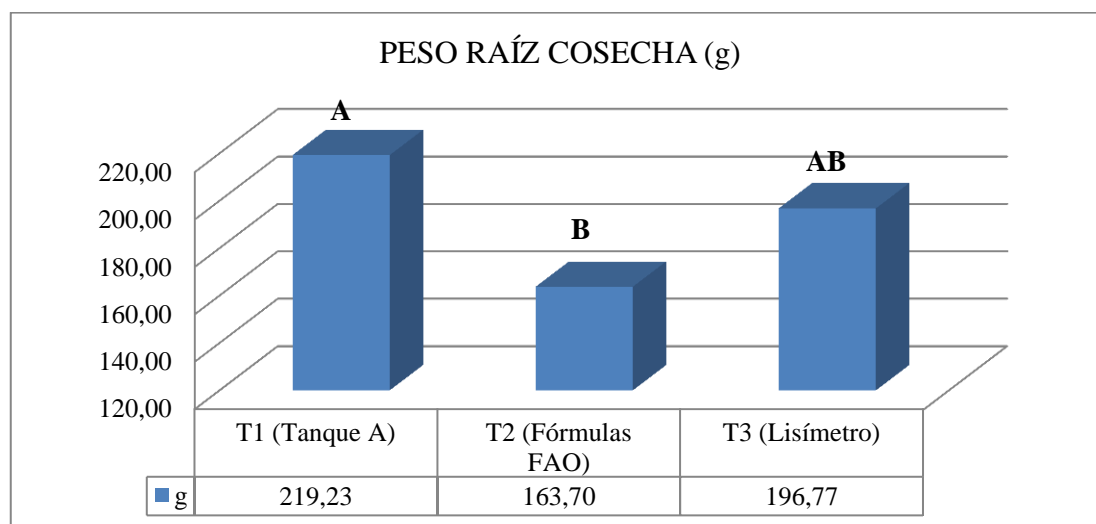


Figura 13. Peso de la raíz de zanahoria a la cosecha

Fuente: Yumbo, J. 2018

f. Rendimiento

1) Rendimiento por categoría (Ton/ha)

a) Primera Categoría

El análisis de varianza para el rendimiento de la zanahoria de primera categoría (Cuadro 15), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 40,2 ton/ha y el coeficiente de variación fue de 7,26%.

CUADRO 15. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DE LA ZANAHORIA DE PRIMERA CATEGORÍA (TON/HA)

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	309,173	154,587	18,151	0,010	**
Repeticiones	2	7,145	3,572	0,419	0,683	ns
Error	4	34,067	8,517			
Total	8	350,386				
cv	7,26					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de la zanahoria de primera categoría (Figura 14), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 45,78 ton y el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 42,72 ton, y en el rango “B” se ubica el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 32,10 ton.

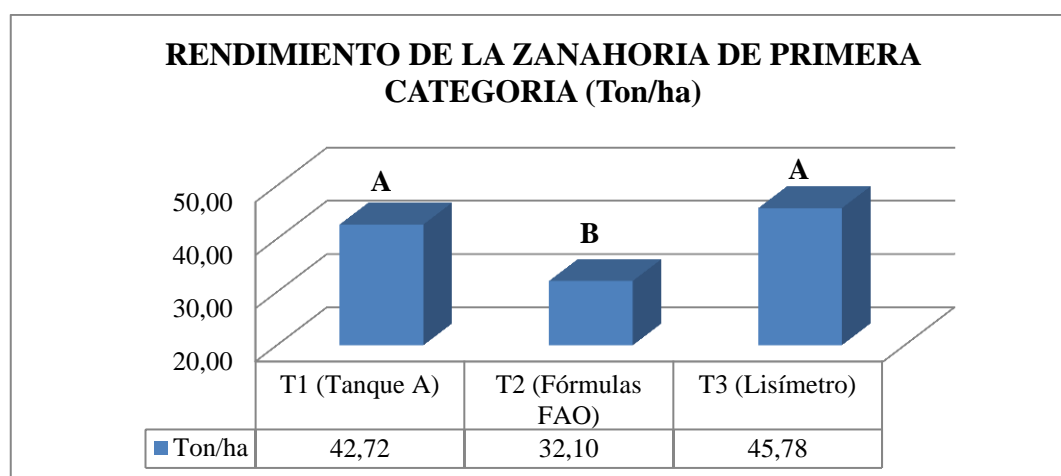


Figura 14. Rendimiento de la zanahoria de primera categoría

Fuente: Yumbo, J. 2018

b) Segunda Categoría

El análisis de varianza para el rendimiento de la zanahoria de segunda categoría (Cuadro 16), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 11,74 ton/ha y el coeficiente de variación fue de 6,75%.

CUADRO 16. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DE LA ZANAHORIA DE SEGUNDA CATEGORÍA (TON/HA)

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	35,030	17,515	27,879	0,004	**
Repeticiones	2	0,505	0,253	0,402	0,693	ns
Error	4	2,513	0,628			
Total	8	38,048				
cv	6,75					

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de la zanahoria de segunda categoría (Figura 15), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 14,32 ton y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con una media de 11,36 ton, y el Tratamiento 3 (Lisímetro) con 9 ton.

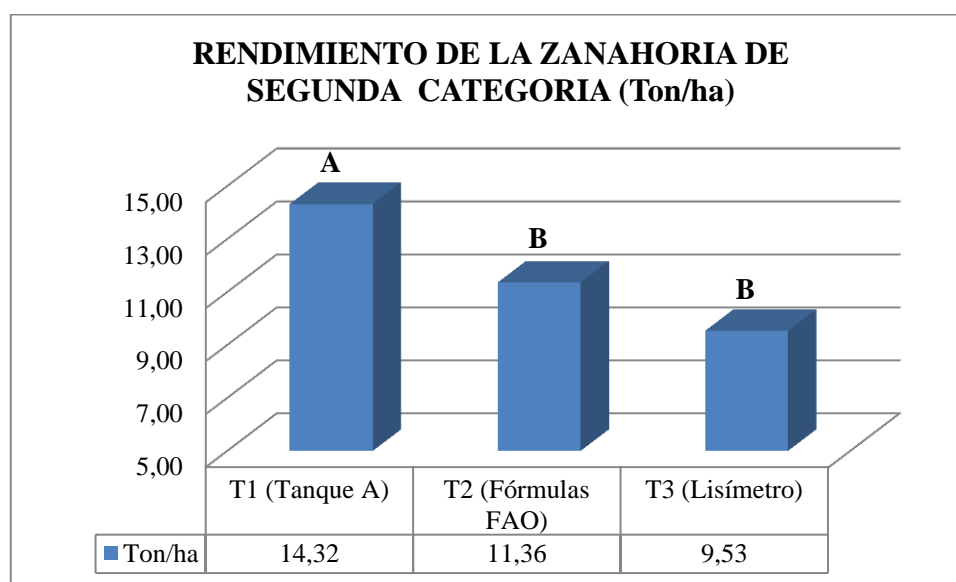


Figura 15. Rendimiento de la zanahoria de segunda categoría

Fuente: Yumbo, J. 2018

c) Tercera Categoría

El análisis de varianza para el rendimiento de la zanahoria de tercera categoría (Cuadro 17), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 8,45 ton/ha y el coeficiente de variación fue de 6,97%.

CUADRO 17. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DE LA ZANAHORIA DE TERCERA CATEGORÍA (TON/HA)

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	44,616	22,308	64,209	0,001	**
Repeticiones	2	0,262	0,131	0,377	0,708	ns
Error	4	1,390	0,347			
Total	8	46,267				
cv	6,97					

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de la zanahoria de tercera categoría (Figura 16), presenta dos rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 11,48 ton y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con una media de 7,70 ton, y el Tratamiento 3 (Lisímetro) con 6,18 ton.

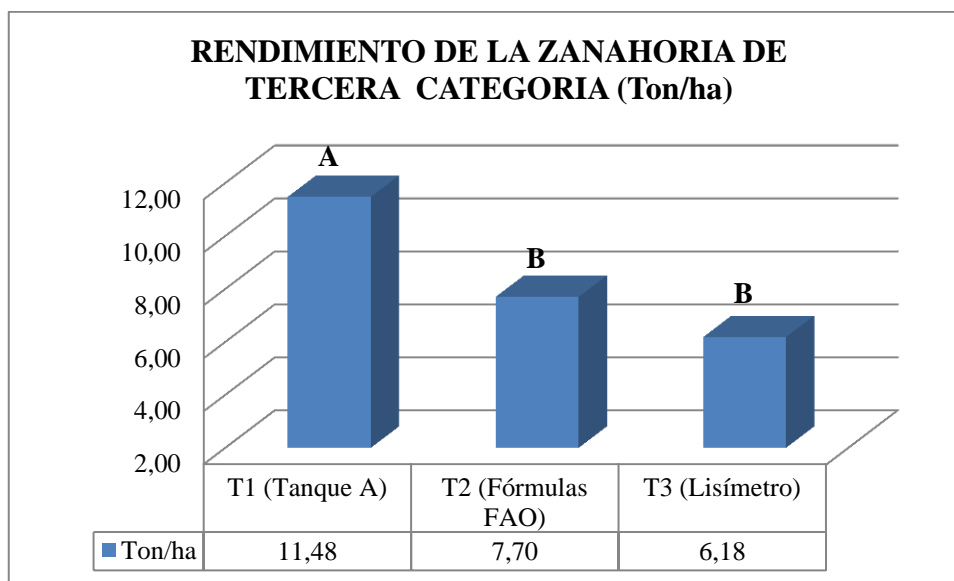


Figura 16. Rendimiento de la zanahoria de tercera categoría

Fuente: Yumbo, J. 2018

2) Rendimiento total (Ton/ha)

El análisis de varianza para el rendimiento total de la zanahoria (Cuadro 18), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 60,39 ton/ha y el coeficiente de variación fue de 7,08%.

CUADRO 18 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO TOTAL DE LA ZANAHORIA (TON/HA)

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	457,237	228,618	12,502	0,019	**
Repeticiones	2	14,475	7,237	0,396	0,697	ns
Error	4	73,146	18,286			
Total	8	544,857				
cv	7,08					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total de la zanahoria (Figura 17), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 68,51 ton, en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 61,49 ton, y en el rango “B” Tratamiento 2 (Fórmula FAO 3) con 51,16 ton.

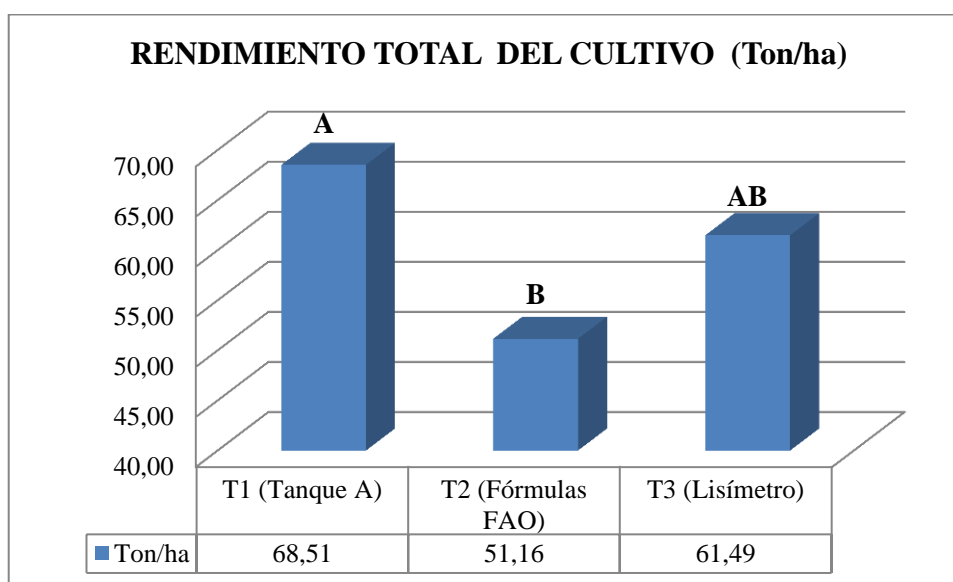


Figura 17. Rendimiento del cultivo de zanahoria.

Fuente: Yumbo, J. 2018

En la figura 17 se muestra el rendimiento que se obtuvo del cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay en el que para T1 (Tanque A) fue de 68,51 ton/ha, T2 (Fórmulas FAO) de 51,16 ton/ha y en T3 (Lisímetro) de 61,49 ton/ha.

La oferta hídrica es importante en el desarrollo del cultivo, principalmente en la etapa de intensivo crecimiento de la raíz. El aporte de agua a los cultivos a través del riego aumenta considerablemente el rendimiento, el riego por aspersión aumenta el rendimiento de zanahorias hasta un 200%. Sin embargo el riego por goteo es el más eficiente en el uso del agua (Rosas Catalán, 2011).

El mayor rendimiento se obtuvo con el T1 (Tanque A) fue de 68,51 ton/ha; pero al clasificarlas se observó que de primera categoría hubo una mayor producción con el T3 (Lisímetro) esto se debe a que al incrementar el volumen de agua aplicado tiene a aumentar la producción reduciendo las características comerciales. El de menor rendimiento fue del T2 (Fórmulas FAO) de 51,16 ton/ha. Mencionan en su estudio (Sahara, Yadav, Dahiya, singh, & Singh, 2006) que al aumentar el régimen de riego hay un aumento en la producción pero se producen mayores raíces bifurcadas y raíces partidas.

g. Contenido de materia húmeda y seca

1) Peso húmedo planta (g)

El análisis de varianza del peso húmedo de la planta (Cuadro 19), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 217,91 g y el coeficiente de variación fue de 6,25%.

CUADRO 19. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO HÚMEDO DE LA PLANTA.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	5255,669	2627,834	14,147	0,015	**
Repeticiones	2	155,176	77,588	0,418	0,684	ns
Error	4	743,004	185,751			
Total	8	6153,849				
cv	6,25					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el peso húmedo de la planta (Figura 18), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 246,03 g, en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 220,67 g, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 187,03 g.

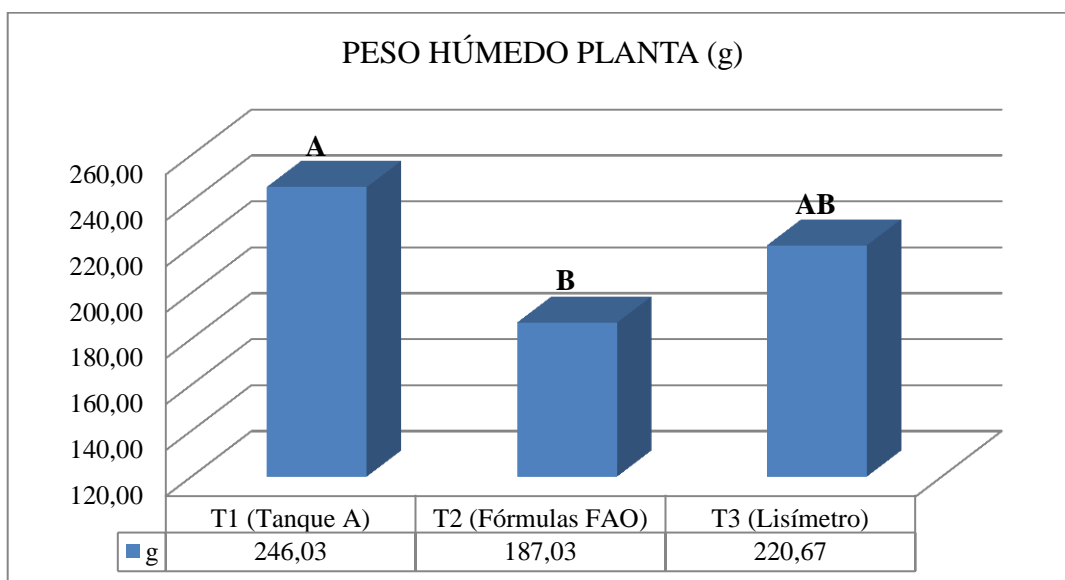


Figura 18. Peso húmedo de la planta.

Fuente: Yumbo, J. 2018

2) Peso seco planta (g)

El análisis de varianza del peso seco de la planta (Cuadro 20), no se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 36,97 g y el coeficiente de variación fue de 15,81%.

CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO HÚMEDO DE LA PLANTA.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	39,707	19,853	0,581	0,600	ns
Repeticiones	2	84,987	42,493	1,244	0,380	*
Error	4	136,687	34,172			
Total	8	261,380				
cv	15,81					

Fuente: Yumbo, J. 2018

ns: No significativo

*: Significativo

3) Peso húmedo de la hoja (g)

El análisis de varianza del peso húmedo de la hoja (Cuadro 25), se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 24,95 g y el coeficiente de variación fue de 2,89%.

CUADRO 25. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO HÚMEDO DE LA HOJA.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	18,249	9,124	17,510	0,011	**
Repeticiones	2	0,149	0,074	0,143	0,871	ns
Error	4	2,084	0,521			
Total	8	20,482				
cv	2,89					

Fuente: Yumbo, J. 2018

**: Muy significativo ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el peso húmedo de la planta (Figura 19), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 26.80 g, en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 24.73 g, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 23.33 g.

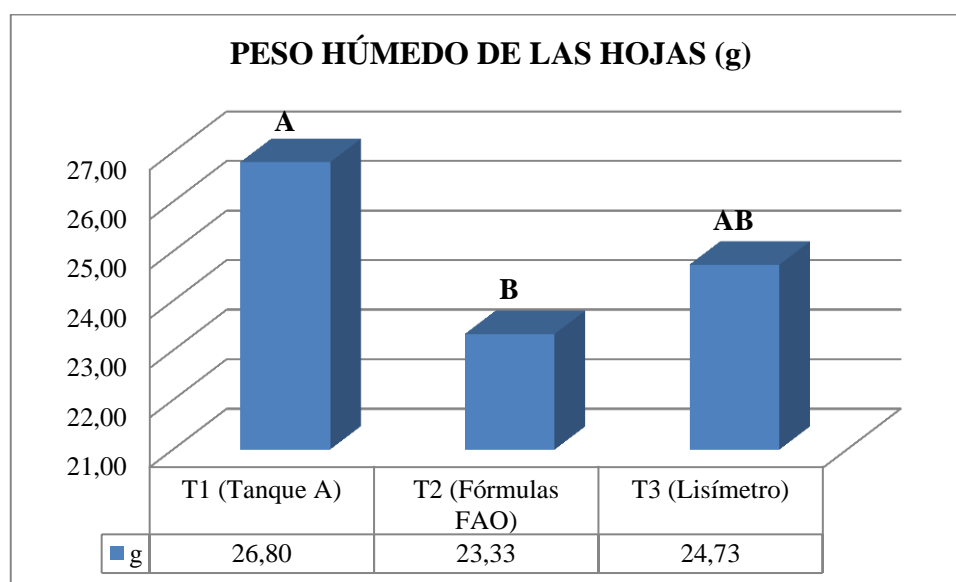


Figura 19. Peso húmedo de las hojas.

Fuente: Yumbo, J. 2018

4) Peso seco de la hoja (g)

El análisis de varianza del peso seco de la hoja (Cuadro 26), no se evidenció diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 4,44 g y el coeficiente de variación fue de 4,37%.

CUADRO 26. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO SECO DE LA HOJA (g)

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,282	0,141	3,735	0,122	ns
Repeticiones	2	0,249	0,124	3,294	0,143	ns
Error	4	0,151	0,038			
Total	8	0,682				
cv	4,37					

Fuente: Yumbo, J. 2018

ns: No significativo

5) Peso húmedo de la raíz (g)

El análisis de varianza del peso húmedo de la raíz (g) (Cuadro 27), se presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 193,23 g y el coeficiente de variación fue de 7,08%.

CUADRO 27. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO HÚMEDO DE LA RAÍZ.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	4682,107	2341,053	12,502	0,019	**
Repeticiones	2	148,220	74,110	0,396	0,697	ns
Error	4	749,013	187,253			
Total	8	5579,340				
cv	7,08					

Fuente: Yumbo, J. 2018

** : Muy significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el peso húmedo de la raíz (g) (Figura 20), presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1 (Tanque A) con una media de 219.23 g, en el rango “AB” se ubica el Tratamiento 3 (Lisímetro) con una media de 196.77 g, y en el rango “B” se ubican el Tratamiento 2 (Fórmula FAO) con 163.70 g.

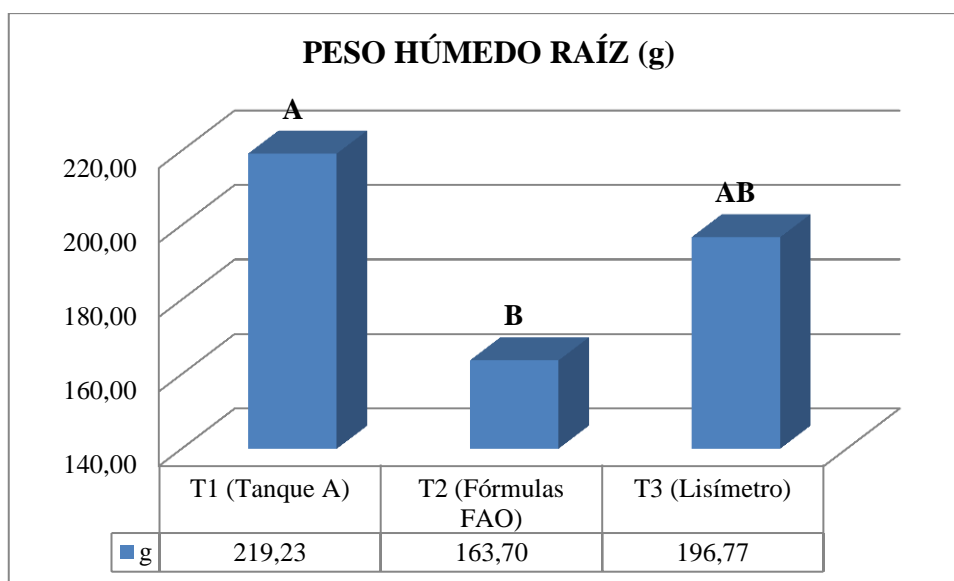


Figura 20. Peso húmedo de la raíz.

Fuente: Yumbo, J. 2018

6) Peso seco de la raíz (g)

El análisis de varianza del peso seco de la raíz (g) (Cuadro 28), no se presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 32,52 g y el coeficiente de variación fue de 18,19%.

CUADRO 28. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO SECO DE LA RAÍZ.

FV	GL	SM	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	36,02	18,01	0,51	0,63	ns
Repeticiones	2	90,41	45,20	1,29	0,37	*
Error	4	139,95	34,99			
Total	8	266,38				
cv	18,19					

Fuente: Yumbo, J. 2018

ns: No significativo

*: Significativo

7) Contenido relativo de agua a la cosecha (WRC)

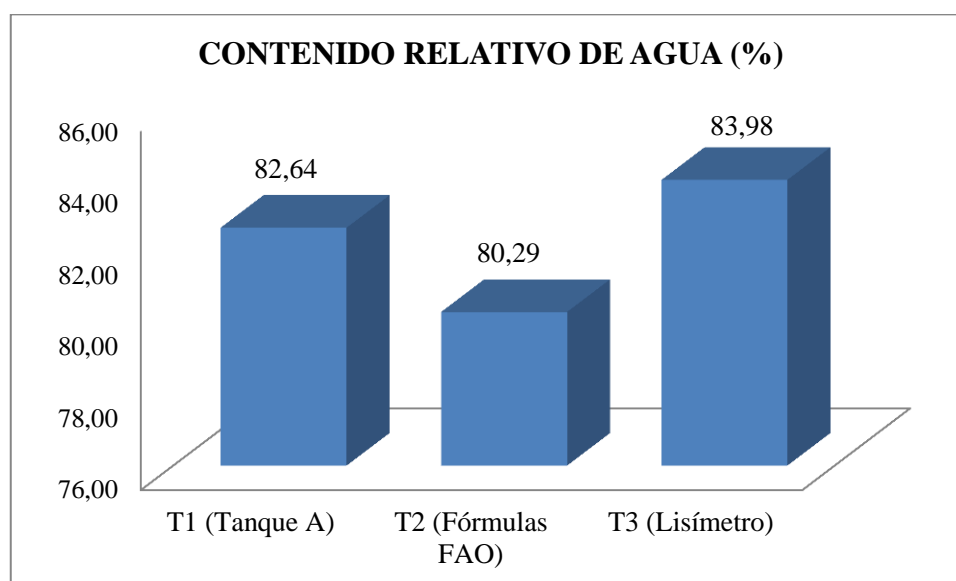


Figura 22. Contenido Relativo de Agua (WRC) a la cosecha en el cultivo de zanahoria.

Fuente: Yumbo, J. 2018

Como se observa en la figura 22. El tratamiento con mayor contenido relativo de agua es el T3 (Lisímetro) con 83,98%, mientras que el T1 (Tanque A) y T2 (Fórmulas FAO) tienen 82,64 % y 80,29 % respectivamente.

8) Porcentaje de materia seca a la cosecha

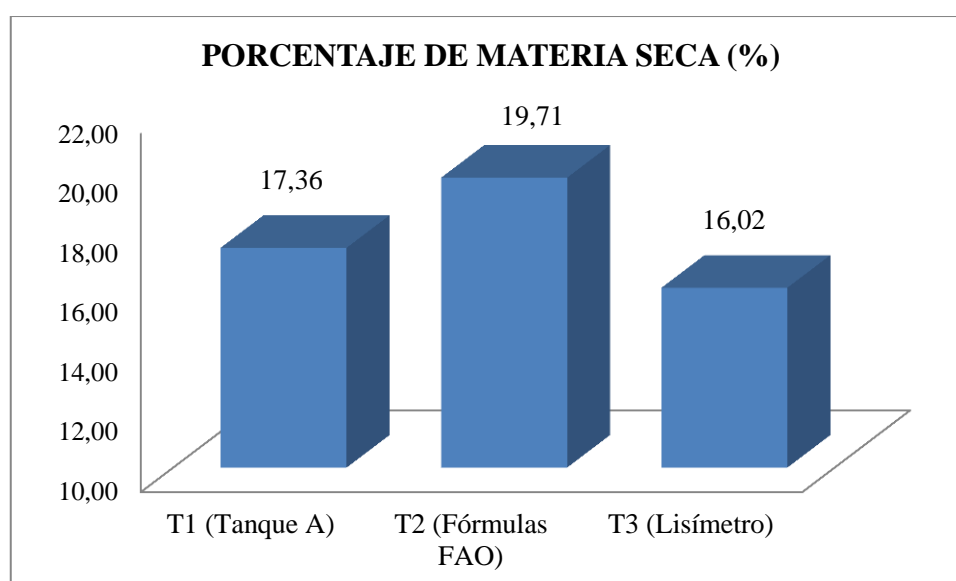


Figura 23. Porcentaje de materia seca a la cosecha del cultivo de zanahoria.

Fuente: Yumbo, J. 2018

Como se observa en la figura 23. El tratamiento con mayor porcentaje de materia seca es el T2 (Fórmulas FAO) con 19,71%, mientras que el T1 (Tanque A) y T3 (Lisímetro) tienen 17,36 % y 16,02 % respectivamente.

B. COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) AJUSTADO PARA EL CULTIVO DE ZANAHORIA

1. Coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para zanahoria, mediante fórmulas FAO.

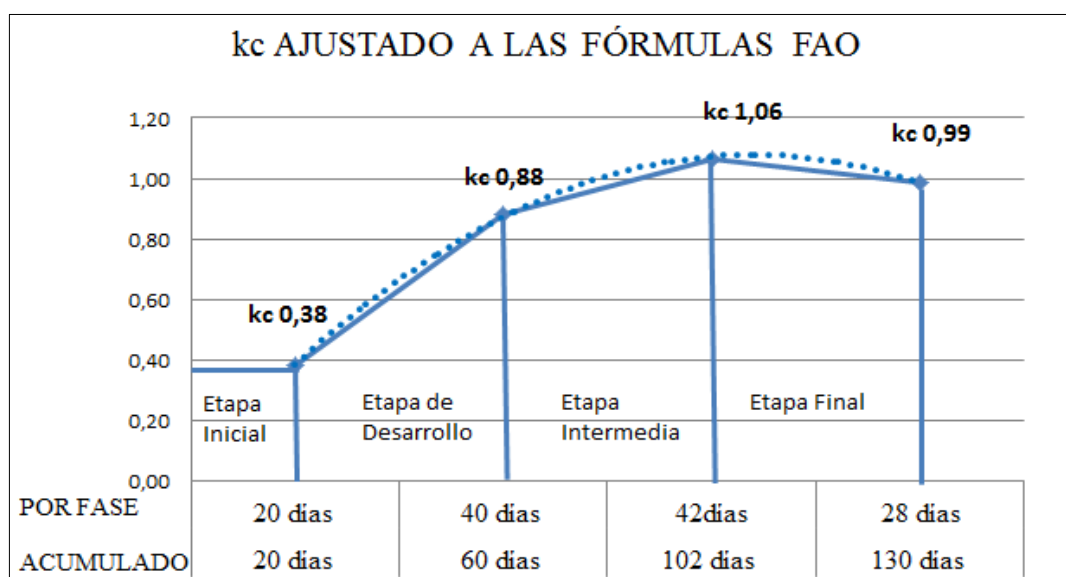


Figura 24. Coeficiente de cultivo (Kc) mediante las fórmulas FAO.

Fuente: Yumbo, J. 2018

Se puede observar en la Figura 24 en la cual está aplicado un modelo polinómico del coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para el cultivo de zanahoria determinada por el método de las fórmulas empíricas (FAO) con un abatimiento de la humedad del suelo del 25%, se puede apreciar el coeficiente del cultivo (Kc) ajustado, por etapa fenológica del ciclo del cultivo, así los valores de Kc obtenidos para la etapa inicial fue de 0.38 con una duración de 20 días, etapa de desarrollo de 0.88 con una duración de 40 días, en la etapa intermedia con 1.06 y una duración de 42 días y en la etapa final de 0.99 con una duración de 28 días, concluyendo el ciclo del cultivo alcanzó los 130 DDS, en la que se aplicó una lámina de 420.47 mm.

2. Coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para zanahoria, mediante Lisimetría.

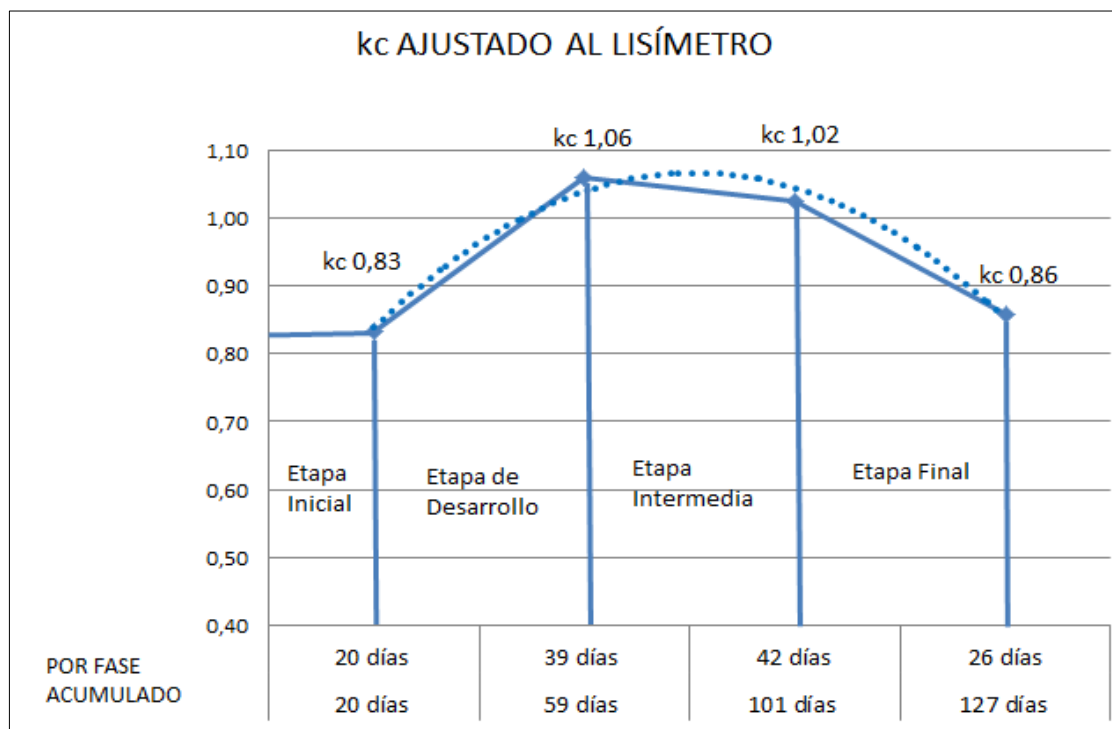


Figura 25. Coeficiente de cultivo (Kc) mediante los lisímetros.

Fuente: Yumbo, J. 2018

Se puede observar en la Figura 25 en la cual está aplicado un modelo polinómico del coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para el cultivo de zanahoria determinada por el método de los lisímetros, puede apreciar el coeficiente del cultivo (Kc) ajustado, por etapa fenológica del ciclo del cultivo, así los valores de Kc obtenidos para la etapa inicial fue de 0.83 con una duración de 20 días, etapa de desarrollo de 1.06 con una duración de 39 días, en la etapa intermedia con 1,02 y una duración de 42 días y en la etapa final de 0.86 con una duración de 26 días, concluyendo el ciclo del cultivo alcanzando los 127 DDS, en la que se aplicó una lámina de 404.76 mm.

C. HUELLA HÍDRICA

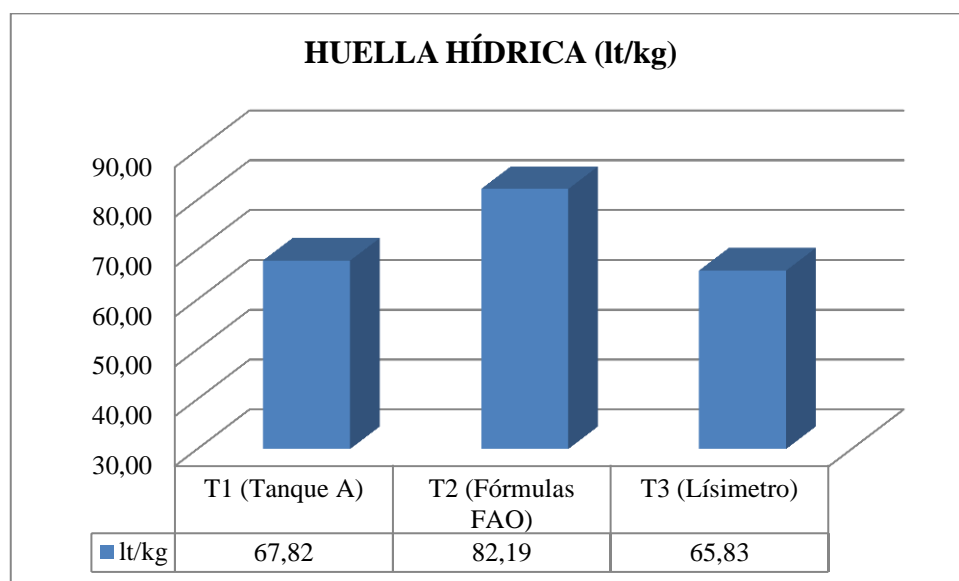


Figura 26. Huella hídrica (lt/kg) para los diferentes tratamientos en el cultivo de zanahoria.

Fuente: Yumbo, J. 2018

Se puede observar en la figura 26 que hay diferencias entre los tratamientos en el que para el T3 (Lísímetro) se requiere menos agua con 65.83 lt para producir 1 kg en el cultivo de zanahoria, en el T1 (Tanque A) se requiere 67.82 lt es decir 1.99 lt más y para el T2 (Fórmulas FAO) fue de 82.19 es decir 14.37 lt más que el anterior.

La diferencia entre el tratamiento que tiene menor huella hídrica T3 (Lísímetro) y mayor huella hídrica T2 (Fórmulas FAO) es de 16.36 lt.

Dicha diferencia es debido a las diferentes láminas de agua aplicadas en cada tratamiento en el ciclo de cultivo de la zanahoria, en el cual el T1 (Tanque A) fue de 464.63 mm, el T2 (Fórmulas FAO) fue de 420.47 mm y el T3 (Lísímetro) fue de 404.76 mm.

D. ANÁLISIS ECONÓMICO

1. Beneficio/Costo (B/C)

CUADRO 29. RENTABILIDAD DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamiento	Ingreso Total	Costo Total	B/C	%
Tanque A	8760,77	5446,54	1,61	61
Fórmula FAO	6986,025	5425,43	1,29	29
Lisímetros	8579,718	5477,93	1,57	57

Fuente: Yumbo, J. 2018

En la presente investigación el T1 (Tanque A) presentó mayor beneficio/costo de 1,61 como se observa en la figura 27 con una rentabilidad del 61% lo que quiere decir que por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,61 dólares. A diferencia del T2 (Fórmulas FAO) que presentó el menor beneficio/costo de 1,29 con una rentabilidad del 29%, así mismo por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,29 dólares. Es decir que hay una diferencia de 0,32 dólares.

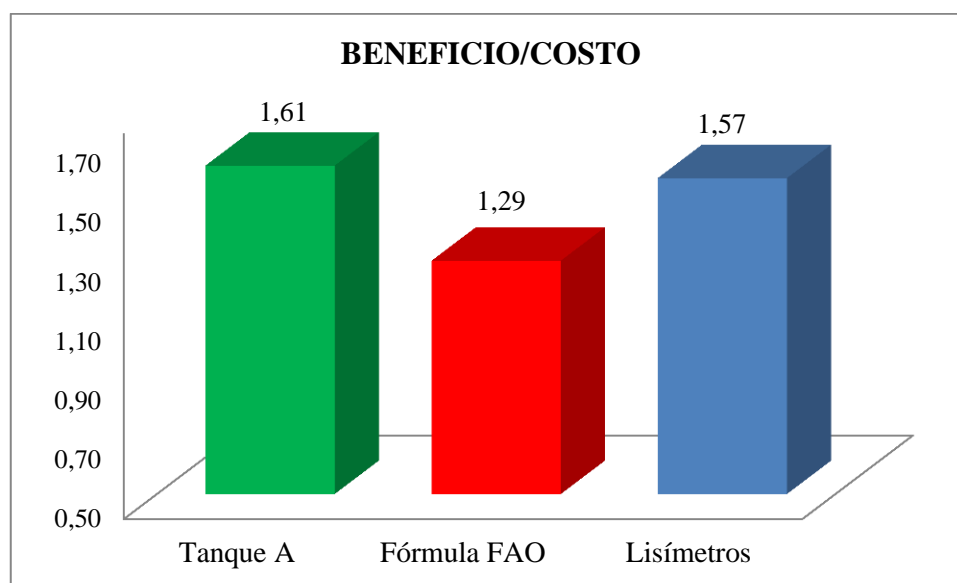


Figura 27. Relación Beneficio/Costo de los tratamientos.

Fuente: Yumbo, J. 2018

VIII. CONCLUSIONES

- A. Según la aplicación de agua el método más apropiado para determinar la lámina de riego en el cultivo de zanahoria es mediante los lisímetros ya que se obtiene información directa de la necesidad de agua del cultivo, llegando a utilizar 404,76 lt/m^2 obteniendo un rendimiento de 61,49 ton/ha además con productos con mejores características comerciales. Ya que con el Tanque A se utilizó 464.63 lt/m^2 y con las Fórmulas FAO 420,47 lt/m^2 .
- B. El coeficiente de cultivo (K_c) ajustado por el lisímetro para cada etapa fue inicial de 0.83, desarrollo de 1.06, intermedia con 1,02 y la etapa final de 0.86, como resultado de la reposición del agua de riego al momento del drenaje.
- C. El tratamiento que presenta menor huella hídrica es T3 (Lisímetro) con la aplicación de 65.83 litros de agua por cada kilogramo de rendimiento. Y el que presento mayor huella hídrica fue de T2 (Fórmulas FAO) fue de 82.19 lt/kg .
- D. Se determinó que con el T1 (Tanque A) se obtiene una mayor relación beneficio/costo con de 1,61 con una rentabilidad del 61%.

IX. RECOMENDACIONES

- A. Utilizar volumen aplicado en el T3 (Lisímetros) el cual fue de $404,76 \text{ lt/m}^2$, con esto se optimiza el recurso agua que se aplica al cultivo.
- B. Validar la información obtenida del kc ajustado para el T3 (Lisímetros) en otras zonas hortícolas productoras de zanahoria.

X. RESUMEN

La presente investigación propone: evaluar tres métodos para determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo; Se realizó con un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) y se adaptó a condiciones de riego por goteo. Se incluyeron 3 tratamientos y 3 repeticiones, según el abatimiento de humedad del suelo (T1 Tanque de evaporación 25%, T2 fórmulas empíricas 25% y T3 Lisímetro al momento del drenaje). Los resultados mostraron que las diferentes láminas influyeron en el rendimiento de la zanahoria. Según la aplicación de agua el mejor tratamiento fue el tratamiento 3 (Lisímetro) con un volumen de 404,76 mm, obteniendo así un rendimiento de 61,49 ton/ha. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de emergencia, altura de la planta, diámetro del hombro de la raíz, longitud de la raíz, peso de la raíz, rendimiento, porcentaje de materia seca, correlación entre el agua utilizada y rendimiento (huella hídrica). Se establecieron 4 etapas fenológicas para el cultivo desde la siembra hasta la cosecha: etapa inicial (días a la emergencia de las plantas), etapa de desarrollo (días a la formación de hojas verdaderas), etapa intermedia (días al engrosamiento de la raíz), etapa final (Días a la cosecha). Se ajustó el kc (coeficiente cultivo) según el lisímetro para cada una de las etapas fenológicas: inicial de 0.83, desarrollo de 1.06, intermedia con 1.02 y la etapa final de 0.86, como resultado de la reposición del agua de riego al momento del drenaje.

Palabras clave: REQUERIMIENTOS HÍDRICOS - CULTIVO DE ZANAHORIA - RIEGO POR GOTEO - AGUA DE RIEGO.

Por: Jailli Yumbo



XI. SUMMARY

The present investigation proposes to evaluate three methods to determine the hydraulic requirements in the cultivation of carrots (*Daucu carotya* L.) var. Chantenay in Macaji, canton Riobamba, province of Chimborazo. A design of Complete Random Blocks (DBCA) was made and adapted to drip irrigation conditions. Three treatments and three repetitions were included, according to the humidity of the soil (T1) Evaporation tank 25%, T2 empirical formulas 25% and T3 Lysimeter at the time of drainage). The results showed that the different sheets influenced the carrot yield. According to the application of water, the best treatment was treatment 3 (lysimeter) with a volume of 404.76mm, thus obtaining a yield of 61.49ton / ha. The evaluated variables were: percentage of emergence, height of the plant, diameter of the shoulder of the root, length of the root, weight of the root, yield, percentage of dry matter, correlation between the water used and yield (water footprint). Four phenological stages were established for cultivation from sowing to harvesting; initial stage (days to emergence of the plants), stage of development (days to the formation of true leaves) intermediate stage (days to the thickening of the root), final stage (days to harvest). The kc (culture coefficient) was adjusted according to the lysimeter for each of the phenological stages; initial of 0.83, development of 1.06, intermediate with 1.02 and the final stage of 0.86, as a result of the replacement of irrigation water at the time of drainage.

Keywords: WATER REQUIREMENTS - CARROT CROPS - DRIP IRRIGATION - IRRIGATION WATER.



XII. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura:
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s00.pdf>
- Ávila, E. (2015). *Manual zanahoria*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de Camara de Comercio de Bogotá:
<http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bolaños, A. (1998). *Cultivo de zanahoria*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de Infoagro:
<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Manual%20tecnico%20EL%20CULTIVO%20DE%20ZANAHORIA%20en%20Costa%20Rica.pdf>
- Caicedo Jácome, W. F., & Sono Heredia, F. X. (2014). *Fertilizacion química en el cultivo de zanahoria (Daucus carota var.) con tres fuentes nitrogenadas más el micronutriente boro precursores de carotenos y la vitamina (A)*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2017, de Universiada Técnica de Cotopaxi:
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2560/1/T-UTC-00095.pdf>
- Celdrán, D. (2013). *El agua en la producción agropecuaria: problemas y oportunidades de un recurso tan vital como escaso*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017, de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria:
<https://inta.gob.ar/noticias/el-agua-en-la-produccion-agropecuaria-problemas-y-oportunidades-de-un-recurso-tan-vital-como-escaso>
- De la Fuente, A. (2006). *Programación del riego con tensiómetros*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de LinkedIn Corporation © slideshare:
<https://es.slideshare.net/ShitoRyu64/programacion-del-riego-con-tensiometros>
- Enciso, J., Porter, D., & Péries, X. (2005). *CIP Sensores de humedad del riego para eficientar el riego*. Cooperativa de Texas, 2-6.
- Facultad de Agronomía. (2015). *Agua en el suelo*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, Universidad de la República:
<http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/AGUA%20EN%20EL%20SUELO.pdf>
- Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., & Salas, R. (2010). *Estimación de las demandas de consumo de agua*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2017, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación:

http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS%20DE%20AGUA.pdf

- Garay, O. (2009). *Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos*. Perú.
- García, M., Puppo, L., Hayashi, R., & Morales, P. (2012). *Metodología para determinarlos parámetros de un suelo a campo*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2017, de Grupo del Desarrollo del Riego: <http://www.grupodesarrolloriego.uy/pdf/2-seminario-2012/Metodologia-para-determinar-los-parametros-hidricos-de-un-suelo-a-campo.pdf>
- Infoagro. (2017). *El cultivo de la zanahoria*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2017, de InfoAgro © Copyright Infoagro Systems, S.L.: <http://istphuancane.pe.tripod.com/docs/agrop/zanahoria.pdf>
- Intagri. (2017). *La evapotranspiración de los cultivos*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de Intagri S.C. ©: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-evapotranspiracion-de-los-cultivos>
- Lardizábal, R. (2013). *Manual de producción de zanahoria*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2017, de Gobierno de la República de Honduras Direccion de Ciencia y Tecnología Agropecuaria : <http://www.dicta.hn/files/Produccion-Zanahoria-ACCESO.pdf>
- León , J., & Trezza, R. (1998). *Determinación de evapotranspiración del cultivo*. En Centro Internacional de Riegos. Quito. Utah. pp. 3-18.
- León, J. (2008). *Texto básico de riego tecnificado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Chimborazo - Ecuador.
- León, J. (2016). *Modelación matemática para estimar los requerimientos hídricos del cultivo de papa (Solanum spp.)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.
- López López, G., Magaña Lira, N., & Vázquez Romero, C. (2014). *Componente de agricultura familiar periurbana y de traspatio*. Recuperado el 18 de septiembre de 2017, de Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: www.agricultorafamiliar.mx
- López, F. (2011). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de la zanahoria (Daucus carota L), híbrido Cupar, en el Chaupi, provincia de Pichincha*. (Tesis de grado. Ingeniero en Agroempresas). Universidad San Francisco de Quito. Quito. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1369/1/102391.pdf>

- Martínez de la Cerda, J., & et. al. (2005). *Riego en hortalizas*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2017, de InfoAgro:
http://www.infoagro.com/hortalizas/riego_horticolas.htm
- Martínez, A. (2004). *Necesidades hídricas en cultivos hortícolas*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de Revista Horticultura:
http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034_041.pdf
- Morales, J. (1995). *Cultivo de zanahoria*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal:
<http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/zanahoria.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). *Agua y cultivo: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2017, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:
<http://www.fao.org/docrep/005/y3918s/y3918s10.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2002). *El agua y la agricultura*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017, de:
<http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2017, de: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Estadístico. (2017). *Producción y rendimiento de zanahorias en Ecuador*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2017, de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2010). *Agua para un mundo sostenible: datos y cifras*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de
http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWDR3_Facts_and_Figures_SP.pdf
- Robinson, J.(2009). *Usos del riego*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2017, de HORTALIZAS: <http://www.hortalizas.com/irrigacion/usos-del-riego/>
- Rosas Catalán, V. (2011). *Evaluación del potencial productivo de tres cultivares de zanahoria (Daucus carota L.) en Valdivia*. (Tesis de grado. Ingeniero en Agronomía). Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/far789e/doc/far789e.pdf>
- Sahara, M., Yadav, A., Dahiya, M., Singh, A., & Singh, V. (2006). *Efecto de los niveles de riego en la producción de raíces de variedades de zanahoria recién desarrolladas*. Haryana Journal of Horticultural Sciences, 35(3), 364-365.

- Secretaria Nacional del Agua. (2012). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en el Ecuador*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>
- Traxco. (2012). *El agua en la zanahoria*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2017, de Traxco: componentes para sistemas de riego pivot : <https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/el-agua-en-la-zanahoria>

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Duración de cada etapa fenológica por tratamiento.

DURACION DE CADA ETAPA FENOLOGICA (DÍAS)					
Tratamiento	Etapas Inicial	Etapas de Desarrollo	Etapas Intermedia	Etapas Final	Total
T1 (Tanque A)	20	38	41	25	124
T2 (Fórmulas FAO)	20	40	42	28	130
T3 (Lisímetro)	20	39	42	26	127

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 2. Altura de las plantas (cm) a los 30 días después de la siembra.

ALTURA PLANTAS 30DDS					
Tratamiento	Repeticiones			suma	Medias
	1	2	3		
1	5,88	6,76	6,67	19,31	6,44
2	6,40	6,61	5,70	18,71	6,24
3	6,74	6,65	6,21	19,60	6,53

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 3. Altura de las plantas (cm) a los 60 días después de la siembra.

ALTURA PLANTAS 60DDS					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	14,29	14,23	14,15	42,67	14,22
2	13,42	13,40	13,30	40,12	13,37
3	13,73	13,60	13,24	40,57	13,52

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 4. Altura de las plantas (cm) a los 90 días después de la siembra.

ALTURA PLANTAS 90DDS					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	18,04	18,14	17,98	54,16	18,05
2	17,66	17,55	17,12	52,33	17,44
3	17,58	17,64	17,23	52,45	17,48

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 5.** Altura de las plantas (cm) a la cosecha.

ALTURA PLANTAS COSECHA					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	23,72	23,86	23,06	70,64	23,55
2	22,31	22,64	22,22	67,17	22,39
3	22,52	22,77	22,35	67,64	22,55

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 6.** Diámetro del hombro de la raíz (cm) a los 30 días después de la siembra.

DIAMETRO HOMBRO RAIZ 30DDS					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	0,40	0,40	0,33	1,12	0,37
2	0,35	0,39	0,33	1,08	0,36
3	0,44	0,45	0,40	1,29	0,43

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 7. Diámetro del hombro de la raíz (cm) a los 60 días después de la siembra.

DIAMETRO HOMBRO RAIZ 60DDS					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	1,04	1,00	0,90	2,94	0,98
2	0,86	0,87	0,82	2,56	0,85
3	0,98	0,97	0,98	2,92	0,97

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 8.** Diámetro del hombro de la raíz (cm) a los 60 días después de la siembra

DIAMETRO HOMBRO RAIZ 90DDS					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	2,61	2,54	2,60	7,75	2,58
2	2,38	2,45	2,40	7,23	2,41
3	2,57	2,50	2,43	7,50	2,50

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 9.** Diámetro del hombro de la raíz (cm) a la cosecha.

DIAMETRO HOMBRO RAIZ COSECHA					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	5,01	5,11	5,06	15,18	5,06
2	4,76	4,70	4,61	14,07	4,69
3	4,99	4,79	4,72	14,50	4,83

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 10. Longitud de la raíz (cm) a la cosecha.

LONGITUD DE LA RAIZ COSECHA					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	15,09	15,13	15,19	45,41	15,14
2	14,31	13,82	13,18	41,31	13,77
3	14,72	14,62	14,82	44,16	14,72

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 10.** Peso fresco planta (g) a la cosecha.

PESO FRESCO PLANTA (g)					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	229,9	249,9	258,3	738,1	246,03
2	186,7	193,3	181,1	561,1	187,03
3	229,5	228,1	204,4	662	220,67

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 11.** Peso fresco hojas (g) a la cosecha.

PESO FRESCO HOJAS (g)					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	26,2	26,7	27,5	80,4	26,80
2	22,9	23,9	23,2	70	23,33
3	25,4	24,1	24,7	74,2	24,73

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 12. Peso fresco raíz (g) a la cosecha.

PESO FRESCO RAIZ (g)					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	203,7	223,2	230,8	657,7	219,23
2	163,8	169,4	157,9	491,1	163,70
3	206,6	204	179,7	590,3	196,77

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 13.** Rendimiento primera categoría (Ton/ha)

RENDIMIENTO (TON/HA) PRIMERA CATEGORIA					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	39,69	43,49	44,97	128,15	42,72
2	32,12	33,22	30,96	96,30	32,10
3	48,07	47,46	41,81	137,34	45,78

Fuente: Yumbo, J. 2018**Anexo 14.** Rendimiento segunda categoría (Ton/ha)

RENDIMIENTO (TON/HA) SEGUNDA CATEGORIA					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	13,30	14,58	15,07	42,96	14,32
2	11,36	11,75	10,95	34,07	11,36
3	10,01	9,88	8,70	28,59	9,53

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 15. Rendimiento tercera categoría (Ton/ha)

RENDIMIENTO (TON/HA) TERCERA CATEGORIA					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	10,66	11,68	12,08	34,43	11,48
2	7,70	7,97	7,43	23,10	7,70
3	6,49	6,41	5,64	18,54	6,18

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 16. Rendimiento tercera categoría (Ton/ha)

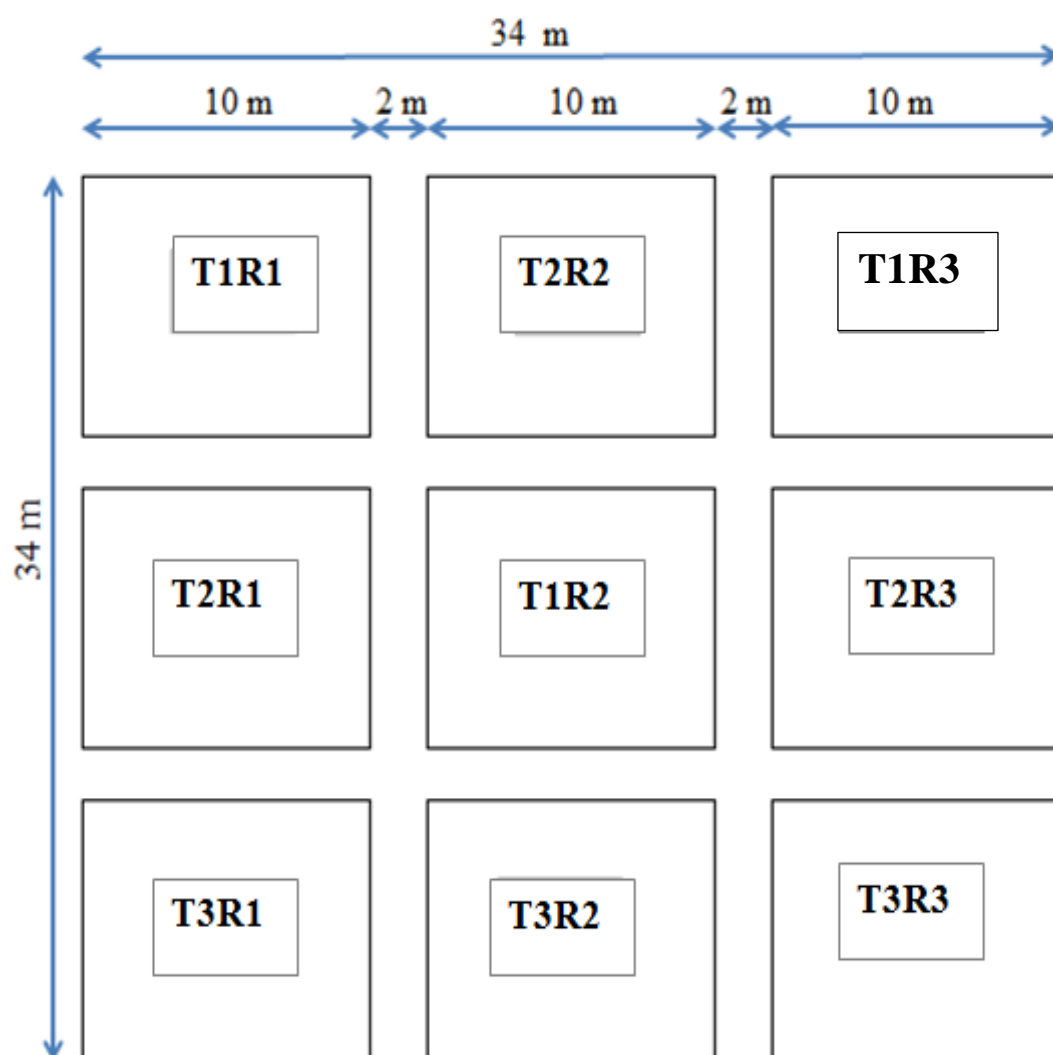
RENDIMIENTO TOTAL (TON/HA)					
Tratamiento	Repeticiones			suma	medias
	1	2	3		
1	63,66	69,75	72,13	205,53	68,51
2	51,19	52,94	49,34	153,47	51,16
3	64,56	63,75	56,16	184,47	61,49

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 17. Comportamiento climático durante el ciclo de cultivo de zanahoria.

MES	T (°C)	H.R. (%)	VV (m/s)	Precipitación (mm/día)	Evaporación (mm/día)
Abril	12,9	70,56	1,87	66,89	112,54
Mayo	13,2	74,84	1,79	80,8	128,60
Junio	12,7	67,66	2,36	2,6	100,45
Julio	12,6	64,71	2,65	9,9	112,90
Agosto	12,4	64,53	2,42	7,5	123,00
Promedio	12,76	68,46	2,22		
Sumatoria				167,69	507,49

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 18. Distribución de los tratamientos en el campo

Fuente: Yumbo, J. 2018

Anexo 19. Costo del ensayo para la evaluación de tres métodos para determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (USD)	P. TOTAL (USD)
Preparación del suelo				144,00
Rastrada	Hora	1	12	12,00
Nivelada	Jornal	5	12	60,00
Realización de camas	Jornal	6	12	72,00
Fertilizantes				132,00
10-30-10	kg	50	0,6	30,00
Muriato de potasio	kg	25	0,7	17,50
Urea	kg	20	0,6	12,00
Algas (aminoácidos)	g	500	0,025	12,50
Mano de obra	Jornal	4	15	60,00
Siembra				100,85
Semillas	libra	1	36	36,00
Fungicida	g	250	0,0194	4,85
Mano de obra	Jornal	4	15	60,00
Controles fitosanitarios				90,00
Nakar	ml	1000	0,023	23,00
Cañon	ml	200	0,035	7,00
Mano de obra	Jornal	4	15	60,00
Labores culturales				210,50
Raleo	Jornal	6	15	90,00
Deshierba	Jornal	6	15	90,00
Herbicida selectivo	g	1000	0,0195	19,50
Herbicida contacto	ml	1000	0,011	11,00
Cosecha				147,50
Sacos	saco	150	0,25	37,50
Mano de obra	Jornal	6	15	90,00
Transporte	Vehículo	1	20	20,00

Materiales de campo				600,00
Sistema de riego por goteo	Unidad	1	600	600,00
Subtotal				1424,85
Imprevistos 10%				142,49
Total				1567,34

Fuente: Yumbo, J. 2018